

SyncSurface: デジタルワークスペースとフィジカルワークスペースを統合し遠隔地間で共有するシステム

村田 雄一 志築 文太郎 田中 二郎

遠隔地間の協調作業を実現する方法として、デジタルワークスペースの共有があげられる。遠隔地にそれぞれ置かれたディスプレイに同一の表示を行うことによって、デジタルワークスペースを共有することができる。我々の SyncSurface は、デジタルワークスペースの共有に加えて、フィジカルワークスペースの共有を行うシステムである。ディスプレイを見込むように設置されたカメラの画像から、ディスプレイ面上にかざされた手や物を切り出してデジタルワークスペースに合成し、これを共有する。この画像の切り出しのために、我々は、赤外画像と可視光画像を掛け合わせるによって、ディスプレイ面上の物体を切り出す手法である赤外線キーイングを開発した。本システムを用いて協調作業を行った結果、ジェスチャや指さしを用いたコミュニケーション、デジタルワークスペース上に配置された物体を交えたコミュニケーションを行うことができた。

1 はじめに

ホワイトボードやテーブルなどの平面は協調作業のためのワークスペースとして用いられる。例えば、ホワイトボードを交えながら議論する、テーブル上に資料や物を並べて議論するといった協調作業は一般的である。また、同一の Web ページを見ながら議論を行う、複数人で相談しながら 1 つの資料を仕上げるなどの協調作業に、コンピュータのディスプレイが用いられることがある。以降、本論文では、ホワイトボードやテーブルなどの物理的な作業空間をフィジカルワークスペース、コンピュータディスプレイという電子的な作業空間をデジタルワークスペースと呼ぶことにする。

本来、ワークスペースを共有した協調作業は、複数の作業者が同一の場所にいるときに行われるものである。しかし、コンピュータを用いる事によって、遠隔地間でもこれらの協調作業を達成しようという試み

がある。すなわち、遠隔地にそれぞれディスプレイを配置し、お互いのフィジカルワークスペース、または同一のデジタルワークスペースを表示することによって、遠隔地間でワークスペースを共有した協調作業を行うことが可能となる。フィジカルワークスペースの共有によって、ジェスチャや物体を提示する、描画を共有するといった行為を交えたコミュニケーションをとることができるようになる。また、デジタルワークスペースの共有によって共同で文章を作成する、Web を閲覧しながら議論するといったコミュニケーションをとることができる。しかしながら、このとき、同時にフィジカルワークスペースを共有することができれば、ジェスチャを交えてコミュニケーションをとりながら、これらの作業を行うことができるようになる。

我々は、こうした遠隔地間の協調作業を実現することを目的として、フィジカルワークスペースとデジタルワークスペースを統合して共有する SyncSurface を開発したので、これについて述べる。また、フィジカルワークスペースとデジタルワークスペースを統合においては、それぞれのワークスペースの画像をいかに合成するかが課題となっていた。我々は、これに対する解決策として、赤外線面発光を行う背景を用いてフィジカルワークスペース画像から物体を切り出し

任意の画像に合成することのできる赤外線キーイングを開発したので、これについても述べる。

2 関連研究

遠隔地に置かれたディスプレイを使ってワークスペースの共有を行うことを試みている研究は、フィジカルワークスペースの共有を主としているもの、デジタルワークスペースの共有を主としているもの、その両者の共有を目指したものがあげられる。

フィジカルワークスペースを共有する研究の多くは、ワークスペースを見込むように設置されたカメラで撮影をおこない、これを共有することによって、遠隔地間の協調作業を実現している。VideoDraw [5] はフィジカルワークスペースの共有により、2 遠隔地間での共有描画を支援する。一方のディスプレイ上に描かれた線画をカメラで撮影し、他方のディスプレイに提示する。ディスプレイにはユーザの腕やペンなども同様に映しだされるため、ユーザはジェスチャを交えながら共有描画を行うことができる。VideoWhiteBoard [4] は VideoDraw と同様に、ジェスチャを交えた遠隔地間の共有描画を実現している。カメラを用いてリアプロジェクションスクリーンを裏側から撮影すると、スクリーン上に描かれた線画と、その向こうに位置するユーザのシルエットを撮影することができる。これを用いて、ワークスペースの共有を実現している。ClearBoard [2] は、作業者が透明なガラス板を挟んで対面している状況に見立てた共有描画システムである。透明なワークスペースの向こう側に相手が写るため、アイコンタクトをとることができる。また、協調作業者が今何を見ているかが分かるという Gaze Awareness を実現している。AgoraG [9] は書籍等の資料を交えた議論を遠隔で行うものである。AgoraG は、解像度は低いものの多数の資料を並べて写せる半共有領域と、解像度が高く書籍に書かれた文字・写真を共有できる書画カメラ領域を持つ。ユーザは、半共有領域にある資料を指差し、書画カメラ領域への移動を促すというやり取りを交え、書籍を共有した協調作業を行うことができる。

デジタルワークスペースを共有する研究、システムの多くは、VNC, Microsoft SharedView のように、

コンピュータの表示、すなわちデジタルワークスペースを共有することによって遠隔協調作業を実現する。一部の研究においては、カメラ画像の一部を加えることによって、ジェスチャを交えた協調作業を可能としている。LIDS [1] は、ディスプレイの前に立つ作業者の影を、遠方に置かれたもう一方のディスプレイに映し出すことにより、遠方の協調作業への気づきを提供している。ディスプレイを見込むように設置されたカメラの画像を用いて、ワークスペース上の影画像を生成している。Distributed Tabletops [6] は、LIDS と同様に設置されたカメラの画像を用いて、ユーザの影をワークスペース上に重畳表示している。人間の肌色は青色を反射しにくいという特性を利用することによって影画像の生成を行っている点が LIDS とは異なっている。VideoArms [3] は肌色抽出を行うことによって、影ではなく、ユーザの腕をワークスペース上へ重畳表示している。

フィジカルワークスペースとデジタルワークスペースの双方の共有を目指したシステムとして、DigitalDesk [7] があげられる。DigitalDesk は、電子情報と物理的な情報を扱うことのできるワークスペースである。DigitalDesk を 2 台用いることによって、デジタルワークスペースとフィジカルワークスペースを遠隔地と共有した協調作業が可能となる。ワークスペースを撮影するカメラ画像に対して閾値処理をすることによって、フィジカルワークスペース上の情報を切り出している。

2.1 関連研究との比較

表 1 は関連研究と SyncSurface の比較である。

DigitalDesk を除く多くの研究は、フィジカルワークスペースとデジタルワークスペースのいずれかの共有を主目的としている。本研究の SyncSurface は、これらをどちらも共有することによって、フィジカルワークスペースとデジタルワークスペースを組み合わせさせた協調作業を遠隔地で行うことができる点が異なっている。

DigitalDesk においては、前述したとおり、閾値処理された画像を遠隔地と共有する。すなわち、この処理によって容易に切り出すことのできる、紙に描か

| | Human Body | Object | Physical Workspace | Digital Workspace |
|-----------------------|------------|--------|--------------------|-------------------|
| VideoDraw | ○ | ○ | | |
| VideoWhiteboard | △ | | | *Shadow Image |
| ClearBoard | ○ | ○ | | |
| AgoraG | ○ | ○ | | |
| VideoArms | ○ | | ○ | |
| Distributed Tabletops | △ | | ○ | *Shadow Image |
| LIDS | △ | | ○ | *Shadow Image |
| DigitalDesk | △ | △ | ○ | *Threshold Image |
| SyncSurface | ○ | ○ | ○ | |

表 1 関連研究と SyncSurface の比較

れた線画等が主な対象となっている。一方、本研究の SyncSurface は、フィジカルワークスペースに存在するあらゆる物体 (本、模型、あるいはかざされたユーザの腕など) を対象とすることができる。

3 SyncSurface のコンセプト

SyncSurface は、フィジカルワークスペースとデジタルワークスペースを組み合わせた遠隔協調作業を可能にするシステムである。

図 1 は SyncSurface のコンセプト図である。SyncSurface は遠隔地にそれぞれ置かれた平面上の表示を同期させる。平面 A にかざされた物体、ユーザの体が平面 B に表示される。平面 B にかざされた物体、ユーザの体も同様に平面 A に映る。これによって、あたかも同じ平面を共有しているかのような協調作業が遠隔地間で可能になる。さらに、SyncSurface は平面 A, B としてディスプレイを用いることによって、デジタルワークスペースも共有する。

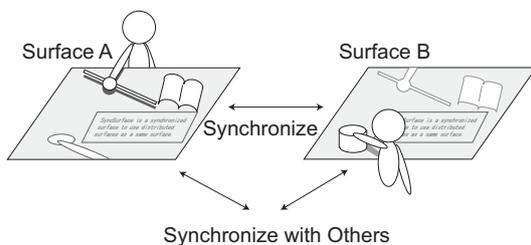


図 1 SyncSurface のコンセプト

なお、図 1 にはテーブル型の平面を示した。しかし、本研究の平面はテーブル以外にも考えられる。例えば、図 2 に示すホワイトボード型も考えられる。

テーブル型およびホワイトボード型の構成は同様であるものの、設置形態の違いによる特徴を持つ。テーブル型は物体をワークスペース上においてこれを変えた協調作業ができる。その一方、ホワイトボード型は協調作業者の表情を伝えることができる。前者を適用した作業例としては、電子地図を表示したその上に模型などを置いてディスカッションを行う、物理的な資料を共有しながら、電子文書を作成などが挙げられる。後者については、指差しを交えながの遠隔授業、遠隔地会議などが挙げられる。

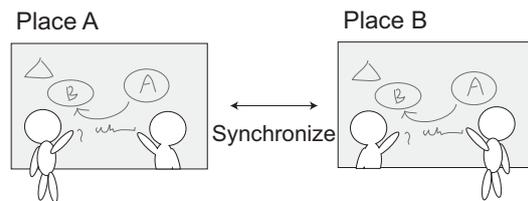


図 2 ホワイトボード型 SyncSurface のコンセプト

4 実装

4.1 赤外線キーイングを用いた物体画像の切り出し

フィジカルワークスペースとデジタルワークスペースを統合して共有するには、フィジカルワークスペースを撮影したカメラ画像から、物、ユーザの手や体などの物体を切り出し、デジタルワークスペースの画像と合成する必要がある。本研究では、可視光画像に加えて赤外線面発光を行うディスプレイを用い、赤外線画像を基にした物体抽出を行う赤外線キーイングを開発し、これを用いて SyncSurface の実装を行った。

カメラ画像から任意の物体を切り出す方法は従来から研究されてきた。その例として、閾値画像を用いたもの、偏光を利用したもの、肌色検出を利用したもの、熱画像を用いたものなどが挙げられる。これらは、切り出しの対象とする物体、または背景に対して

視覚的な制約が求められるものが多かった。

一方、赤外線キーイングは、切り出しの対象とする物体や背景に対して視覚的な制約を持たない点の特徴となっている。赤外線が物体によって遮られることを用いているため、赤外線不透過の物体であれば切り出しの対象とすることができる。ガラスなどの透明な物質以外に可視光を完全に透過する物質はそれほど多くなく、協調作業に用いられることと考えられる紙、文具、模型などは問題なく切り出しの対象とすることができる。

赤外線キーイングを用いた画像処理のプロセスを図 3 に示す。

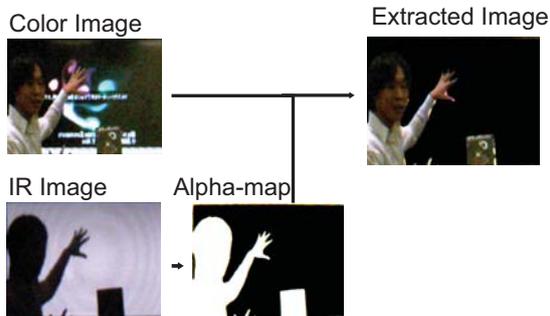


図 3 赤外線キーイングを用いた画像処理のプロセス

一様に面発光するディスプレイを赤外線フィルター付きカメラで撮影すると図 3 の IR Image のような画像が取得できる。この画像を基に、物体切り出しを行うための Alpha-map を作成する。その後この Alpha-map を基に Color Image を切り出す。これによって、ディスプレイと物体の写った画像から、物体のみが写った Extracted Image のような画像を生成することができる。

この処理では、赤外線画像と可視光画像を光学的に同位置から撮影する必要がある。本実装では Thermokey [8] にて用いられるハーフミラー方式を用いてこれを実現している。

赤外線キーイングでは、物体か背景かの 2 値で切り出しを行うハードキー形式ではなく、画素の物体らしさに応じて合成を行うソフトキー形式の切り出しを行う。赤外線画像の輝度は、物体と背景の境界面

はぼやける。ゆえに、赤外線画像をソフトキーに割り当てた抽出を行うことによって、視覚的に高品質な合成を行うことができる。

4.2 ハードウェア構成

赤外線キーイングを用いたフィジカルワークスペースの切り出しと、これを用いた SyncSurface の検証のため、ハードウェアの構成を行った。

赤外線キーイングを実現するためには、赤外線面発光を行うディスプレイが必要となる。これには、2 通りの実装方法が考えられた。1 つめは、赤外線投光器を用いてプロジェクタスクリーンに投光する方法である。強力な赤外光の投光によって、照光条件に強い動作が期待された。2 つめは、液晶ディスプレイのバックライトが含む赤外線を用いる方法である。この方法には、ハードウェア構成が小規模になる利点があった。そこで我々は、2 通りの実装方法それぞれ実装し、検証してみることにした。

本論文では、SyncSurface の 2 つ形態としてテーブル型の SyncSurface Table とホワイトボード型の SyncSurface Board 型の 2 種類を示す。テーブル型の実装にはプロジェクタスクリーンと赤外線投光器を用いた 1 つめの実装方法を、ホワイトボード型の実装には液晶ディスプレイを用いた 2 つめの実装方法を使った。

図 4 に SyncSurface Table のハードウェア構成を示す。今回の SyncSurface Table の実装には、プロジェクタ投影を用いた、上方に設置されたプロジェクタによって、遠隔地間で共有しているデジタルワークスペースとともに遠方のフィジカルワークスペースが、半透明スクリーン上に投影される。赤外線投光器が平面下方に配置され、スクリーンに赤外線を投光する。これを、スクリーン上方の赤外線フィルター付きカメラが撮影し、同じ位置に設置された可視光カメラの画像と照らし合わせることで、スクリーン上の物体を撮影する。試作したテーブルの天板サイズは 60 cm × 180cm、投影面のスクリーンサイズはおよそ 40inch である。

図 5 は SyncSurface Board の構成図である。液晶ディスプレイには 52 インチワイド液晶ディスプレイ

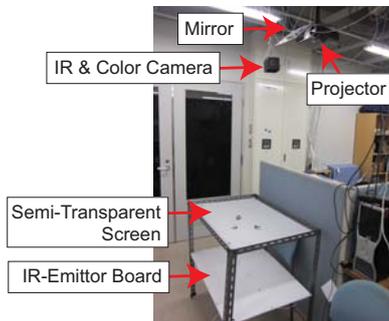


図 4 SyncSurface Table のハードウェア構成

を用いた。

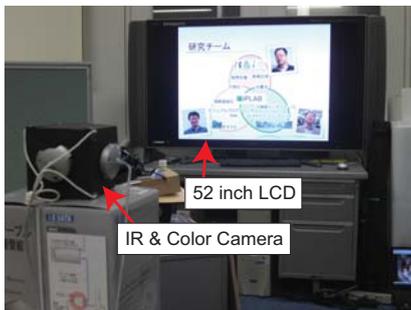


図 5 SyncSurface Board のハードウェア構成

4.3 ワークスペースの合成処理

遠隔地間でのワークスペースの合成処理は、フィジカルワークスペース画像の切り出し、フィジカルワークスペース画像の通信、各フィジカルワークスペース画像とデジタルワークスペース画像の合成からなる。

まず、カメラ画像からフィジカルワークスペース画像の切り出しを行う。任意の平面をカメラで撮影した場合、透視投影変換されたフィジカルワークスペース画像がカメラ画像に写る。したがって、カメラ画像からフィジカルワークスペース画像を切り出す際には Homography 変換を用いる。なお、システムの利用に先立ち、平面の 4 隅をマウスとキーボードを用いて指定することにより、Homography 変換のパラメータを導出している。

次に各カメラから切り出したフィジカルワークス

ペース画像を互いに通信する。この通信には通常 UDP/IP などを用いるが、本論文の実装では、ワークスペースの共有を用いたコミュニケーションの評価を目的としたため、通信処理をひとまず省略した。すなわち、平面 A(図 1) の画像合成を行うコンピュータに平面 B を撮像するカメラを、平面 B の画像合成を行うコンピュータに平面 A を撮像するカメラを接続する。平面が 2 つの場合に限り、互い違いにカメラとコンピュータを接続することにより、ワークスペースの合成処理を行うことができる。

次に各フィジカルワークスペース画像とデジタルワークスペース画像の合成を行う。まず、それぞれのフィジカルワークスペース画像から 4.1 節で説明した赤外線キーイングを用いて物体の画像を抽出する。これに、共有しているデジタルワークスペースの表示を合成することによって、ワークスペースの合成が完了する。

5 システムの初期評価

SyncSurface を用いたコミュニケーションを評価するため、初期評価を行った。

5.1 SyncSurface Table におけるコミュニケーション実験

2 つの SyncSurface Table を用いてコミュニケーションを行った。まずテーブルに地図アプリケーションを表示し、さらに両テーブル上に車の模型を置き、これらを交えたやり取りを行った。



図 6 SyncSurface Table 上でのコミュニケーション

一方のテーブルに置かれた車の模型の配置とその色、形を他方のテーブル上で確認することができた。このことは、車の種類という情報を交えてコミュニケーションをとることができたことから、裏付けられる。また、ある場所に車の模型を配置して場所を指定する、車を動かしながら移動ルートを説明するといったやり取りを行うことができた。

指差しは自然に利用することができ、その様子を他方から確認することができた。これらの行為は、デジタルワークスペースである地図アプリケーションの意図した場所に対して、自然に行うことができた。

一方、いくつかの問題も見られた。立体感が損なわれてしまうことに起因した問題として、作業者がつかんだ手に車の模型が隠れてしまい、もう一方の作業員からその模型が見ることができない状況が生じた。また、プロジェクタの表示が前景に不要な写りこみを生じてしまうことがあった。具体的には図 7 に示すように、左側の作業員の持つノートに背景が投影されてしまっている。また、相手の車を見ることはできるが、それを触ったり移動したりすることができない点で、コミュニケーションに不具合が生じるがあった。



図 7 不要な映り込みが発生している例 (一方の作業員の持つノートに地図が投影されてしまっている)

5.2 SyncSurface Table における議論

実験の結果から、SyncSurface Table を用いることにより、デジタルワークスペースとフィジカルワークスペースを統合した共有が正しく行われていること

を確認できた。ただし、今回は 2 遠隔地間の通信処理を省略したため、通信による遅延が生じていない。通信の遅延がコミュニケーションに影響を与える可能性もあるため、これについては慎重に検討する必要がある。

プロジェクタの表示が前景に不要な写りこみを生じてしまう問題については、赤外線キーイングによって得られた情報を基に、物体領域にはプロジェクションを行わない処理を行うことにより、回避できるものと考えられる。また、物体の写りこみを回避する一方、これを有効活用することも考えられる。前述の処理によってデジタルワークスペースの投影を回避した上で、他の平面で得られたフィジカルワークスペース画像はそのまま投影する。これによって、不要な映り込みを回避しつつも、自分の持つノートや資料等に対して、遠隔地の相手がジェスチャを行うことができるようになると思われる。

また、遠隔地に置かれた物体に対して触る、動かす等の行為をとれない点は SyncSurface の限界であると考えられる。SyncSurface を用いて共有できるのはあくまで情報であって、物体そのものではない。物体がそこに実在していない以上、これは遠隔コミュニケーションの本質的な限界であると考えられる。

5.3 SyncSurface Board における観察実験

SyncSurface Board は 1 台分のハードウェアしか実装することができなかったため、得られた合成画像を同程度のサイズのプラズマディスプレイに表示し、これを観察した。遠隔プレゼンテーションを行うというアプリケーションを想定し、デジタルコンテンツにはプレゼンテーションスライドの表示を行い、これに対してジェスチャを行った。

SyncSurface Board 側で行ったジェスチャは、プラズマディスプレイ側で観察することができた。また、プレゼンタの表情、動作も観察することができた。

問題点として、合成画像の前景の品質に劣化が見受けられ、またフィジカルワークスペースの画像にノイズが生じてしまっている。



図 8 SyncSurface Board の観察実験の様子

5.4 SyncSurface Board に対する議論

SyncSurface Board を用いることにより、ジェスチャを交えながらのコミュニケーションを遠隔地ととることができるようになると考えられる。ただし、今回の実験は、合成画像の観察にとどまったものであった。実際にこれを用いてコミュニケーションを行う場合においては、いくつかの問題が考えられる。例えば、複数の作業者が SyncSurface Board 上に現れるとその下のデジタルコンテンツが見えなくなる等の問題が考えられる。これについては、複数の SyncSurface Board を作成し、評価を行う必要がある。

問題点として発見された、フィジカルワークスペース画像の品質劣化は、カメラの感度を上げたことに伴うノイズの発生が影響しているものと考えられる。本論文の実装においては、可視光と赤外線画像を光学的に同位置から撮影するためにハーフミラーを用いている。今回は、このハーフミラーにアクリル板を用いたが、反射率の低さから、可視光カメラの感度を高くしなければ映像を撮ることができなかった。より反射率の高いハーフミラーを作成することにより、カメラの感度を下げることができ、ノイズの発生を防ぐことができると思われる。

6 結論

本論文では、デジタルワークスペースとフィジカルワークスペースを統合して共有することのできる SyncSurface について述べた。フィジカルワークスペースの切り出しのために 赤外線キーイング の開発を行い、これを用いる事によって、デジタルワークスペースとフィジカルワークスペースを統合して共有す

ることを実現した。実装した SyncSurface を用いてコミュニケーションと観察を行ったところ、不必要な写りこみが発生してしまう問題、立体感が損なわれてしまうことによる問題、ノイズ発生によるフィジカルワークスペースの画質の問題を確認することができた。

今後は、実験によって発見された改善すべき点について、実装を行っていく。また、SyncSurface を用いた協調作業のより詳細な評価を行っていく。

参考文献

- [1] Apperley, M., McLeod, L., Masoodian, M., Paine, L., Phillips, M., Rogers, B., and Thomson, K.: Use of video shadow for small group interaction awareness on a large interactive display surface, *AUIC '03: Proceedings of the Fourth Australasian user interface conference on User interfaces 2003*, Darlinghurst, Australia, Australia, Australian Computer Society, Inc., 2003, pp. 81–90.
- [2] Ishii, H. and Kobayashi, M.: ClearBoard: a seamless medium for shared drawing and conversation with eye contact, *CHI '92: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, New York, NY, USA, ACM, 1992, pp. 525–532.
- [3] Tang, A., Neustaedter, C., and Greenberg, S.: VideoArms: Embodiments for Mixed Presence Groupware, *People and Computers XX — Engage*, (2007), pp. 85–102.
- [4] Tang, J. C. and Minneman, S.: VideoWhiteboard: video shadows to support remote collaboration, *CHI '91: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, New York, NY, USA, ACM, 1991, pp. 315–322.
- [5] Tang, J. C. and Minneman, S. L.: VideoDraw: a video interface for collaborative drawing, *CHI '90: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, New York, NY, USA, ACM, 1990, pp. 313–320.
- [6] Tuddenham, P. and Robinson, P.: Distributed Tabletops: Supporting Remote and Mixed-Presence Tabletop Collaboration, *Proceedings Second Annual IEEE International Workshop on Horizontal Interactive Human-Computer Systems TABLETOP '07*, 2007, pp. 19–26.
- [7] Wellner, P.: Interacting with paper on the DigitalDesk, *Commun. ACM*, Vol. 36, No. 7(1993), pp. 87–96.
- [8] Yasuda, K., Naemura, T., and Harashima, H.: Thermo-Key: Human Region Segmentation from Video, *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 24, No. 1(2004), pp. 26–30.
- [9] 山下淳, 葛岡英明, Luff, P., 山崎敬一, 山崎晶子:

AgoraG: 遠隔操作型レーザーポインタと書画カメラを
備えた遠隔共同作業支援システム, *Human Interface*
Symposium 2001 論文集, 2001, pp. 585-588.