

透過スクリーン側面からの深度情報を用いた 両面タッチパネル化システム

小山 雄大^{1,a)} 井上 亮文¹ 星 徹¹

概要: 透過スクリーンを挟み複数のユーザが向き合うことで、対面状態での協調作業が支援できる。扱いやすいタッチ操作を実装することで、作業の効率化が期待できるが、大型の両面タッチパネルを実現するには、高いコストを必要とする。そこで本研究では、様々なサイズの透過スクリーンを安価かつ容易に両面タッチパネル化するシステムを提案する。本システムでは、透過スクリーン側面に設置した深度センサ1台のみを用いてスクリーン両面に接近する物体を個別に検出する。検出した物体の位置から取得した三次元座標をスクリーン正面から見た二次元座標に変換し、タッチ座標を算出する。本稿では、プロトタイプシステムを実装し、得られたタッチ座標の精度を評価する。また、本システムを用いた協調作業向けアプリケーションを検討した。

キーワード: 透過スクリーン, 深度情報, タッチパネル, 協調作業

Double-sided Touch Sensing System Based on Depth Data from the Lateral Aspect

TAKEHIRO KOYAMA^{1,a)} AKIFUMI INOUE¹ TOHRU HOSHI¹

Abstract: Double-sided touch sensing on a translucent screen has the potential to enhance face-to-face cooperative work. However, capacitance-based technology is very expensive for large-sized screens suitable for collaboration. Infrared-based technology has a restriction in touch sensing area if users face each other across the screen. In this paper, we propose a low-cost and double-sided touch sensing system for different sizes of translucent screens. In this system, a depth sensor is installed in series of a screen. This sensor obtains the three-dimensional coordinate and converts it to the two-dimensional coordinate of the screen surface. We describes a basic evaluation with our prototype system and discusses the application availability.

Keywords: translucent screen, depth data, touch panel, cooperative work

1. はじめに

透過スクリーンは、透明な板の表面に光を反射する成分を一定量混ぜ込むことにより、光の通過と反射を同時に実現するスクリーンである。光の通過と反射が同時に実現されているため、スクリーンに提示された仮想の情報と、スクリーン奥に存在する現実の情報を容易に重畳可能である。このスクリーンを挟んで複数のユーザが向き合うこと

で、互いの表情や仕草を確認しながら、スクリーン上で協調作業を行うことができる。その際、共有した情報をタッチすることで操作することができれば、作業の効率は向上すると考えられる。近年ではタッチ操作が主流のスマートデバイスが普及しており、多くの人が特別な学習なく扱えるためである。また、協調作業者がどこに操作を行いたいかを容易に判断できるため、対面状態での協調作業に向いていると考えられる。

タッチパネルを実現する手段は多い。スクリーン表面に直接タッチパネルを取り付ける手法として、マルチタッチ

¹ 東京工科大学 コンピュータサイエンス学部
School of Computer Science, Tokyo University of Technology
^{a)} c01102133b@edu.teu.ac.jp

を実現しやすい静電容量方式が存在する．しかし，そのような方式で大型のスクリーンを制作しようとするとき，サイズに比例してコストが大きくなってしまいう問題がある．スクリーン外部にセンサを設置し，赤外線を用いてタッチ点を取得する手法も存在する．この場合は静電容量方式と異なり，実装するスクリーンのサイズに応じてコストが膨大になってしまうことはないが，ユーザの立ち位置や動作による影響で，タッチ点の取得が遮られてしまうことがある．

本研究では，これらの問題を同時に解決するため，安価なデバイスを用いた上で，ユーザによってタッチ点の取得が遮られない手法を提案する．タッチ点の算出には透過スクリーン側面からの深度情報を用いる．基となる深度情報は，市販されている安価な深度センサで取得することが可能である．そのため，両面タッチパネルの実装に伴う時間的コストと金銭的コストを大幅に抑えることができる．また，深度センサの設置位置を透過スクリーン側面にするこで，システムを利用しているユーザの身体にデータ取得が妨害されにくくした．

第2章では，本研究の関連研究について述べ，その課題点を挙げる．第3章では，透過スクリーン側面からの深度情報を用いた両面タッチパネル化システムの概要を述べる．第4章では，プロトタイプシステムの実装について述べる．第5章では，本システムの運用実験とその評価，それに対する考察について述べる．第6章では，対面状態での協調作業を支援するアプリケーションの検討・実装について述べる．第7章では，本研究の成果や，今後の課題点について述べる．

2. 関連研究

2.1 スクリーン表面にセンサを取り付ける手法

静電容量方式では，タッチパネルに指を近づけることによって生じる静電容量の変化からタッチ点を取得している．最近では投射型と呼ばれる，配置した大量の電極それぞれで生じた電流量の変化比率から測定する方式が注目を集めている．高速で高精度なマルチタッチを実現できるため，iPhoneなどのスマートデバイスに採用されている[1]．

透明なスクリーンを両面からタッチする研究には，岩瀬らのLimpiDual Touchがある[2]．この研究では，透過ディスプレイの前面と背面に透明の抵抗膜タッチスクリーンを貼り付けることで，両面からのタッチインタラクションを実現している．前面と同様に背面からの操作を行うことが可能で，簡単な対戦型ゲームの実装も行っている．

蜂須らは，投射面の表面に赤外線を張り巡らせることにより，速度の計測を同時に行うタッチパネルシステムHACHISStackを提案している[3]．この研究では，赤外線を積層型に配置し，物体がそこを通過する際の時間差から，速度を算出している．

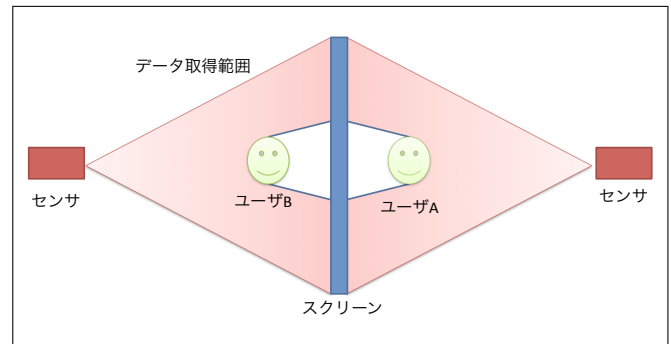


図1 ユーザの身体がデータ取得を妨害している状態

Fig. 1 Undetectable area

2.2 外部センサを用いる手法

外部に設置したセンサで取得したデータを用いて，タッチパネルを実現する手法も存在する．例えば，Kinect^{*1}を用いることでタッチパネルを実現するシステムとして，Kinect Core Visionが存在する．Kinect Core VisionはKinectとCommunity Core Vision[4]を組み合わせることで，撮影面をタッチパネルにすることができる手法である．Kinectでタッチパネルにしたいディスプレイやスクリーンを撮影し，深度情報を取得する．この際のKinectとタッチパネルまでの距離を事前に決定しておき，タッチパネルの表面から数センチの範囲の深度情報を持つ点をタッチ点として認識している．この手法はKinectとPCの二つで実現可能のため，それほど高いコストを必要としない．

2.3 スクリーン両面からの協調作業に関する研究

協調作業空間の提供とコミュニケーション手段を融合させる研究として，小林らのClear Boardが存在する[5]．この研究では，遠隔地での協調作業を行う際に生じる不連続な縫い目(シーム)を，ユーザの顔と作業レイヤーを重畳することで取り除いた．この研究の中で，対面状態での協調作業の有用性を指摘し，作業空間と会話空間を融合させている．

2.4 両面タッチパネルに関する課題

スクリーン表面にセンサを取り付ける手法で，大型の透過スクリーンをタッチパネル化すると，サイズに比例して金銭的・時間的コストが大きくなってしまいう．

一方，外部センサを用いる手法では，比較的安価にタッチパネルを実装することができる．しかし，透過スクリーン両面をタッチパネル化したい場合，図1に示すように，ユーザの身体がデータ取得領域の一部を遮ってしまう．

そのため，大型の透過スクリーンを両面タッチパネル化し，対面状態での協調作業を実現したい場合，高いコストを必要としてしまいう．現実的な運用を行うには，安価な実装が必要と考えられる．

*1 Microsoft社から販売されている深度センサ付きゲームデバイス．

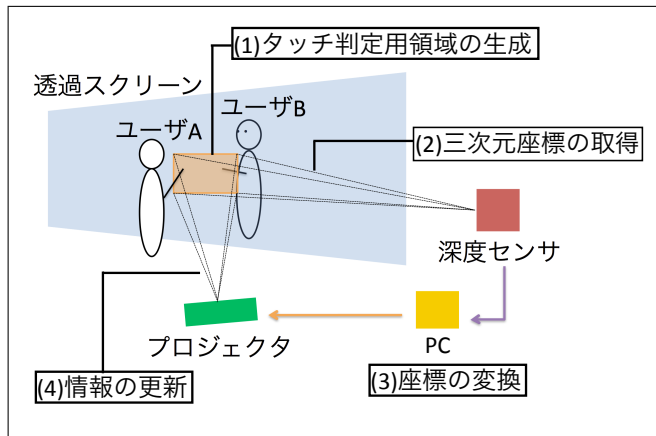


図 2 システム構成図
Fig. 2 System architecture

3. 透過スクリーン側面からの深度情報を用いた両面タッチパネルシステム

前章で挙げた課題点を解決するために、本研究では透過スクリーン側面に設置した深度センサにより取得した深度情報を用いて、両面タッチパネルを実現するシステムを提案する。

3.1 システム概要

提案システムの構成を図 2 に示す。本システムではプロジェクタを用いて透過スクリーン（以下スクリーン）に情報を提示する。ユーザがスクリーンを挟んで対面に立ち、スクリーン表面に指をかざして、タッチ操作を行う。タッチ点を求めるための情報取得は、側面に設置した深度センサ 1 台のみで行う。これにより、安価かつ、ユーザの身体に情報取得が妨害されない両面タッチパネルを実現する。本システムは以下の要素で構成される。

- 透過スクリーン：ユーザに対して情報の提示を行う。
- 深度センサ：透過スクリーン側面からの深度情報の取得に用いる。
- PC：深度情報を元にタッチ点を算出し、ユーザに提示する情報を生成する。
- プロジェクタ：透過スクリーンに情報の提示を行う。

本システムの流れは次の通りである。(1) スクリーン表面にタッチ操作を判定するための領域（タッチ領域）を生成する。(2) タッチ領域で物体の侵入を検出し、その三次元座標を取得する。(3) 得られた三次元座標をスクリーン上の二次元座標（タッチ点座標）に変換する。(4) タッチ点座標を用いて、ユーザに提示するスクリーン上の情報を更新する。

3.2 タッチ領域

本システムは面ではなく、直方体の領域でタッチ点を検出する。物体の侵入を検出し、その位置をタッチ点とし

て検出する一定の厚さを持った領域をタッチ領域と呼ぶ。タッチ領域は、任意のサイズで複数精製することができる。今回は、二つのタッチ領域を精製し、スクリーンを挟む様に設置する。これにより、スクリーン両面のタッチ点を同時に取得することができる。

図 3 にタッチ領域のイメージを示す。タッチ領域は以下の要素によって定義される直方体の領域である。

- $\text{cuboidCenter}(x, y, z)$ ：仮想の面の中心点座標を表すベクトル値
- cuboidSizeX ：タッチ領域の x 軸方向の大きさ
- cuboidSizeY ：タッチ領域の y 軸方向の大きさ
- cuboidSizeZ ：タッチ領域の z 軸方向の大きさ

cuboidCenter はタッチ領域の中心点座標を表す位置ベクトルである。深度センサから見た相対的な位置を x, y, z の 3 つの値で示している。この値を変更する事により、タッチ領域の位置を調節することができる。ピクセル単位で位置の変更が可能のため、高い精度でタッチ領域を設置することができる。

cuboidSize はタッチ領域の各軸方向への大きさである。スクリーン側面に深度センサを設置した場合、 cuboidSizeX は領域の厚さに相当する。領域の厚さを大きくする事により、タッチを認識しやすくなる。ただし、大きくしすぎた場合、スクリーン表面から離れた位置でもタッチ判定を行ってしまい、精度の低下に繋がる恐れがある。 cuboidSizeY , cuboidSizeZ はスクリーン上の y 軸, x 軸方向の大きさに相当する。この数値を調整することで、タッチパネルにしたいスクリーンの縦幅、横幅とタッチ領域を同等の形状にする。

深度センサを物理的に動かすことで、タッチ領域の繊細な調整を行うことは難しい。しかし本システムでは、 cuboidCenter という位置ベクトルを調整することにより、ハードウェアの位置を移動させることなくソフトウェア的に領域の調整が行える。そのため、スクリーン表面にタッチ領域を設置することが容易になっている。また、 cuboidSize の各値を調整しタッチ領域を変更することで、様々なサイズのスクリーンを容易にタッチパネルにすることができる。装置毎に専用のハードウェアを用意する必要がなくなるため、金銭的・時間的コストが大幅に抑えられる。

3.3 タッチ点の検出

図 4 にスクリーン両面のタッチ点検出手法を示す。図 4-(a) はスクリーン側面から、図 4-(b) はスクリーン正面からの視点である。図 4-(a) のようにスクリーン各表面から cuboidSizeX の範囲を深度カメラの検出領域として設定する。この領域内にユーザの身体が侵入した時、ユーザがタッチ操作を行ったものと判定し、その座標をタッチ点として取得する。このタッチ点はスクリーン上における、横幅 d と縦幅 y を用いて表現される。この時、横幅 d の値

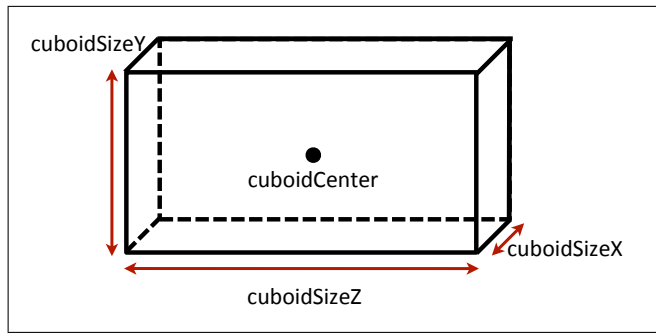


図 3 タッチ領域のイメージ
Fig. 3 Touch area image

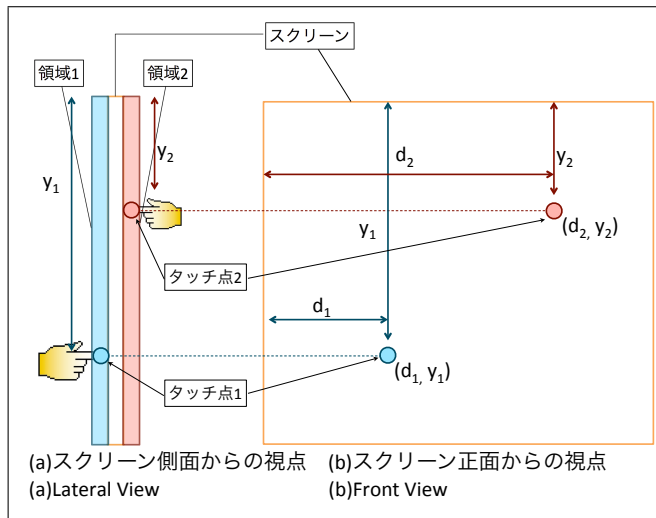


図 4 タッチ点の検出手法
Fig. 4 Detection method

はスクリーン側面に設置したセンサから見た深度で表現することが可能であり、縦幅 y の値は同様に縦幅で表現することができる。

3.4 タッチ点の変換

取得したタッチ点に関する各値は、深度センサから見た相対的な位置ベクトルで表されている。ユーザへ提示する情報を更新するためには、スクリーン上の二次元座標に変換する必要がある。タッチ領域に物体が侵入し、タッチ点として取得した三次元座標を (T_x, T_y, T_z) とする。cuboidCenter を (C_x, C_y, C_z) とする。cuboidSizeX を S_x 、cuboidSizeY を S_y 、cuboidSizeZ を S_z とする。スクリーンのサイズを横 $Width$ 、縦 $Height$ とする。この時、ユーザが触れたスクリーン上のタッチ点座標 (X, Y) は式 1、式 2 で求めることができる。

$$X = \frac{(T_z - C_z - \frac{S_z}{2}) \times Width}{S_z} \quad (1)$$

$$Y = \frac{(T_y - C_y - \frac{S_y}{2}) \times Height}{S_y} \quad (2)$$

スクリーン上のタッチ点における X 座標を求める際に、センサから見た深度情報に当たる T_z, C_z, S_z を利用して

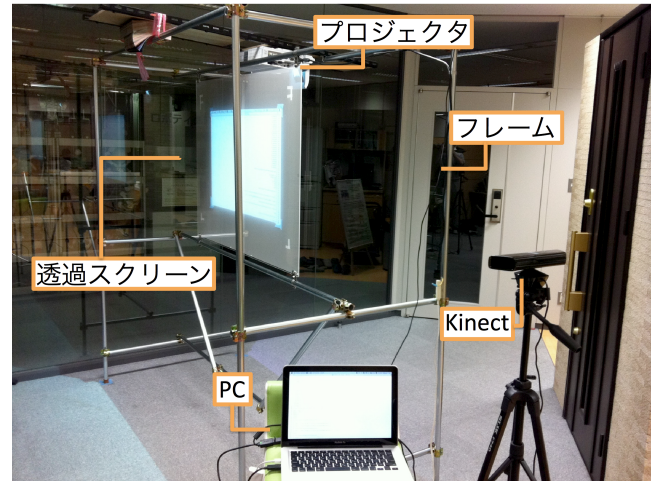


図 5 システム外見
Fig. 5 System appearance

表 1 ハードウェアの実装環境

部品名	仕様
透過スクリーン	1220 × 915 × 10 [mm]
フレーム	鉄製 2000 × 2000 × 1000 [mm]
深度センサ	Xbox 360 Kinect
プロジェクタ	日立 CP-AW250N

いる。スクリーン上のタッチ点における Y 座標を求める際は、センサから見た縦方向の情報に当たる T_y, C_y, S_y を利用している。

4. プロトタイプシステム

4.1 実装環境

本システムの構築に際して、用いた装置の外観を図 5 に、使用した機材を表 1 に示す。本システムでは専用の鉄製フレーム（以下フレーム）を製作し、そこにスクリーンとプロジェクタを設置した。フレームは直径 30 mm の鉄パイプを金属製のジョイントパーツを用いて組み立てている。鉄パイプ 1 本毎の直径は本システムにおいて無視できる範囲であり、ユーザや深度センサの視界を遮りにくい設計となっている。スクリーン側面の淵をフレームで抑えてしまった場合、側面からの深度情報の取得を妨害してしまうため、上下から固定した。深度センサには Kinect を採用し、スクリーンの側面に設置した。またプロジェクタ本体は、情報の提示を行う際にユーザの動作を妨害しないようにするため、スクリーン上部に設置した。本システムの開発環境には iMac(OSX 10.8.4)、開発言語には Processing 2.0.9b を利用した。

4.2 深度情報の取得

Simple OpenNI Processing のライブラリを用いて、Kinect が撮影したスクリーン周辺の座標情報を取得した。Kinect が取得している映像の左右を x 軸、上下を y 軸、奥方向を z 軸と設定する。これによりスクリーン周辺

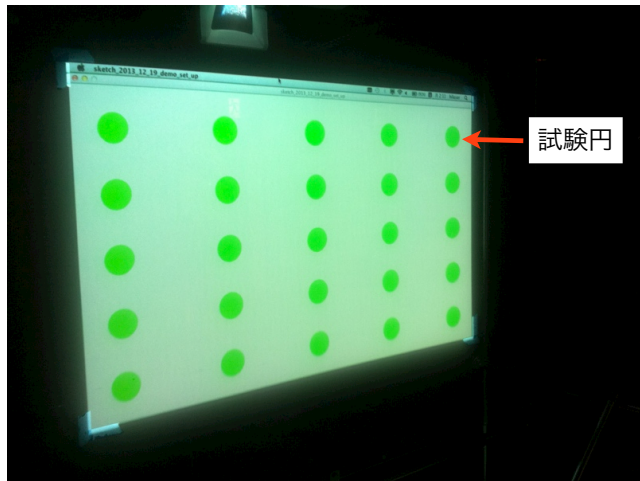


図 6 検証用アプリケーション (面 A)

Fig. 6 Application for assessment experiment (from area A side user)

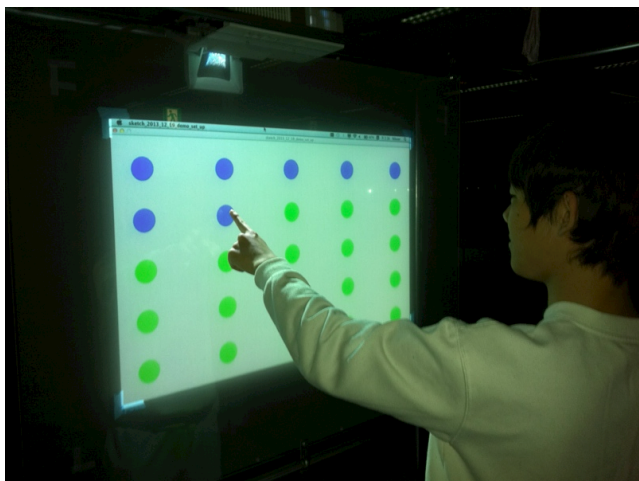


図 7 評価実験の様子 (面 A)

Fig. 7 Sight of assessment experiment (from area A side user)

の全ての点は, (x, y, z) の位置ベクトルで表現することが可能になっている。

5. 評価実験

5.1 検証方法

図 6 にユーザへ提示する検証用アプリケーションの初期画面を, 図 7 に評価実験を行っている様子を示す。また, Kinect から見てスクリーン左側の面を面 A, 右側の面を面 B と呼ぶ。

ユーザに対する情報提示の描写範囲内に, 一定間隔で緑色の円 (以下試験円) を描写している。試験円は全部で 25 個用意されている。被験者は試験円の中心を狙ってタッチ操作を行う。試験円へのタッチ操作は, 面 A から見て右から左, 上から下へと順に行う。その際, タッチ領域から取得したタッチ点が, 試験円の内側であるとシステムが判定した場合, タッチが成功したものとす。面 A の側からのタッチ操作に成功した場合, 試験円は図 7 に示すように青

	1	2	3	4	5
1	0.29	0.50	0.86	0.70	0.66
2	0.30	0.51	0.66	0.66	0.29
3	0.33	0.36	0.68	0.56	0.33
4	0.26	0.27	0.66	0.63	0.19
5	0.13	0.13	0.35	0.20	0.12

深度センサ
[Red Square]

図 8 面 A の実験結果

Fig. 8 Area A's experimental result

に変化する。面 B の側からのタッチ操作に成功した場合, 試験円は赤に変化する。この動作をスクリーン両側からそれぞれ行い, タッチの成功率や変化した色から, 本システムの精度を評価する。

被験者は本システムを初めて利用する大学生の男性 17 名と女性 1 名である。先述の手順を説明した後は, ユーザの判断に任せて利用してもらった。

5.2 タッチの精度の算出

タッチの精度は 25 個の試験円それぞれで個別に算出した。ユーザが意図した試験円のタッチに成功するまでに何回試行したかを記録し, 各試験円の成功率を求めた。ある試験円 i の成功率 s_i は, あるユーザ k がタッチに成功するまでに要した試行回数 C_k を用いて式 3 で求めた。

$$s_i = \frac{1}{C_k} \quad (3)$$

最終的に求める成功率 S_i は被験者全員の結果をまとめたものになる。その場合は, 被験者の数を N とし, 式 4 で求めることができる。

$$S_i = \frac{\sum_{k=1}^N \frac{1}{C_k}}{\sum_{k=1}^N \frac{1}{C_k}} \quad (4)$$

5.3 結果と考察

図 8 に面 A で検証を行った際の成功率を示す。図 9 に面 B で検証を行った際の成功率を示す。成功率の記載位置は, A, B それぞれの面をタッチするユーザから見た位置に対応している。試験円の位置は, スクリーンを行列と見なした場合の, 各要素として表現する。面 A における試験円の位置を A_{ij} , 面 B における試験円の位置を B_{ij} と表記する。原点はユーザから見た左上に当たり, 面 A では深度センサから最も遠い位置, 面 B では深度センサに最も近い位置となっている。

実験の際, 試験円に触れることができなかったケースは存在しなかった。また, 面 A と面 B を誤って判定したケースも存在しなかった。よって, 両面タッチパネル化は成功していたといえる。ただし, 位置によって成功率に差があ

		1	2	3	4	5
深度センサ 	1	0.35	0.36	0.70	0.45	0.13
	2	0.34	0.63	0.49	0.49	0.28
	3	0.30	0.42	0.68	0.59	0.18
	4	0.27	0.48	0.66	0.25	0.28
	5	0.20	0.32	0.43	0.21	0.15

図 9 面 B の実験結果

Fig. 9 AreaB's experimental result

ることが分かった．面 A では中央に当たる列 A_{i3} から，左端に当たる列 A_{i1} ，右端に当たる列 A_{i5} に近づくにつれて，成功率が落ちやすい傾向がある．同様に，中央に当たる行 A_{3j} から，下端に当たる行 A_{5j} に近づくにつれて，成功率が落ちやすい傾向がある．この傾向は面 B でも同様に見られている．ただし，中央に当たる行 B_{3j} から，下端に当たる行 B_{5j} 方向への成功率の低下率が，面 A に比べて小さくなっている．タッチ精度が低下する要因としては，センサの性能と設置位置によって生じる取得データの精度低下や，タッチ点変換アルゴリズムの不足が考えられる．

6. 議論

スクリーンを用いた協調作業を支援するため，システム利用時の課題点と解決するアプリケーションの検討を行った．課題点の一つとして，スクリーンに提示した情報によって対面相手が視認し辛くなってしまう問題が挙げられる．そこで，対面相手を確認しやすくするアプリケーションを実装した．図 10 はアプリケーションを動作させた際の様子である．このアプリケーションでは，ユーザがタッチした部分の透過率が一時的に変化する．透過率の変化は一時的なものであるため，直前まで作業を行っていた情報には影響しない．これにより，作業を中断することなく，対面相手の様子を素早く確認することができる．

また，スクリーンに文字を描写した場合，一方のユーザには左右が反転した状態で提示されてしまう．そこで，文字入力を主体としたアプリケーションでは，状況に応じてユーザが読みやすいように文字を左右反転させる実装が考えられる．

7. おわりに

本研究では，透過スクリーン側面からの深度情報を用いた両面タッチパネル化システムの提案と実装を行った．実装と検証実験の結果，両面タッチパネル化が可能であることが証明された．しかし，位置により精度の差が生じるため，実用に至るまでには改善の余地があることが分かった．



図 10 透過率変化による相手の確認

Fig. 10 Look other by change transmission

今後は，Kinect 以外の深度センサを用いることや，アルゴリズムの改善を行い，タッチ点の精度を上昇させていきたい．

参考文献

- [1] : タッチパネルの基礎知識，(オンライン)，入手先 (<http://www.itmedia.co.jp/pcuser/articles/1009/27/news004.html>) (参照 2014 年 2 月 16 日)
- [2] 岩瀬正樹，筑 康明，苗村 健：Limpidual Touch における両面タッチ入力の実験的検討 (五感メディアの品質，仮想空間におけるコミュニケーションデザイン，一般)，電子情報通信学会技術研究報告，CQ，コミュニケーションクオリティ，Vol. 108, No. 378, pp. 39-42 (2009).
- [3] Hachisu, T. and Kajimoto, H.: HACHISStack: Dual-layer Photo Touch Sensing for Haptic and Auditory Tapping Interaction, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '13, pp. 1411-1420 (2013).
- [4] : Community Core Vision, (online), available from (<http://ccv.nuigroup.com>) (accessed 2014 年 2 月 16 日).
- [5] 小林 稔，石井 裕：ClearBoard-2 における協同作業空間と会話空間のシームレスな融合，情報処理学会研究報告，[グループウェア]，Vol. 93, No. 34, pp. 43-50 (1993).