

空気ジェットによる空中映像内触覚刺激に関する研究

樋口 綾^{†1} 諾 明^{†1}
マルコン シャンドル^{†1} 前川 聡^{†2}

新しい光学素子「2面コーナリフレクターアレイ」(DCRA)により、物体や映像の歪みのない実像を空中投影できる。このような空中映像に触れる時、指位置の検出により新しいインタラクションが可能となる。しかし、空中映像に触れても触覚へのフィードバックがなく、不自然な感覚を抱いてしまう。我々はこの問題を解決するため、空気ジェットによる触覚刺激装置を開発した。発表では、空中での触覚刺激実験について報告する。

Tactile Interface with Air Jets for Floating Images

AYA HIGUCHI,^{†1} NOMIN,^{†1} SANDOR MARKON^{†1}
and SATOSHI MAEKAWA ^{†2}

The new optical device 'DCRA' can display floating images in free air. Experience with interface systems using floating images shows the need to improve the user experience with tactile feedback. We report on the development of a system that uses air jets to give tactile stimulus to users interacting with the floating images. The system delivers compressed air pulses to the fingertips of a user touching the plane of the floating image. We have performed tests to find the range of air jet parameters that give the best user experience.

^{†1} 神戸情報大学院大学 情報技術研究科

Kobe Institute of Computing, Graduate School of Information Technology

^{†2} 情報通信研究機構 ユニバーサルコミュニケーション研究所 超臨場感映像研究室

Multimodal Communication Group, Universal Media Research Center, National Institute of Information and Communications Technology

1. はじめに

1.1 背景

キーボード・マウス・タッチパネル等、現在のヒューマンインターフェースの殆どが手で操作されている。操作時に特に意識されなくても、指先への触覚フィードバックがインタラクションを円滑に行うための重要な要素である。

一方、最近注目を浴びている空中映像においてもインターフェースとしての研究が進み、例えば「空中手書きインターフェース」¹⁾が提案されている。空中映像は通常のディスプレイと異なり、枠等にとらわれない表示が可能となり、より臨場感に優れたインターフェースに期待が高まっている(図1)。

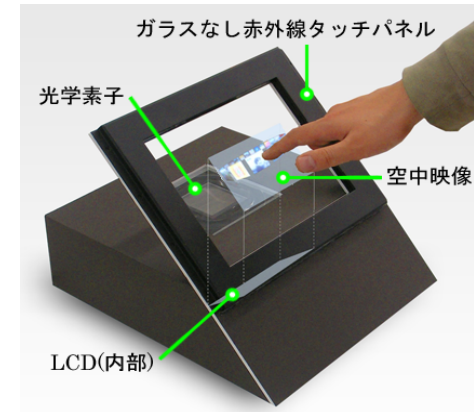


図1 フローティングタッチディスプレイ
Fig.1 Floating Touch Display.

しかし空中映像を用いてインターフェースを構築した場合、映像に触れても空中であるため触覚フィードバックがなく、通常のインタラクションと比べて貧弱なものになってしまう。例えば指先が映像に触れたかどうか、その場所を見つめないと判断できず、通常のタッチスクリーンのように触れている場所以外のところを観察する自由がなくなる等の問題が挙げられる。

DCRA を用いた空中映像では、視点移動による形状の歪みや位置のずれが原理的には存

在しないため、結果としてより高い実在感を生じさせる。また、空中映像表示領域は、物理的実体が無く空間を占有しないため、物理的透過性がある。そのため、空中映像表示領域と重ねて物体を配置したり、対面にいる人間と物を受け渡したりすることが可能である。さらに、空中映像は物理法則に縛られることなく、視覚的に実在するものとして物理的な物体と共存させることができる²⁾。

空中映像を使ったインターフェースに触覚刺激機能をもたらす事によって、その使い勝手が改善できると考えられる。空中に差し伸ばした指先に触覚刺激を与える方法として、超音波等も考えられるが、最も現実的なのは、空気ジェットであろう。これについて、先行研究³⁾で次の記述がある。

「遊園地のアトラクションなどでよく用いられている方法として、エアジェットがある。エアジェットは、細いノズルから空気流を噴射するシステムであり、自由空間に非接触で触覚のフィードバックを与えることができるため、大人数が同時に楽しむタイプのアトラクションに適しているといえる」

また空気ジェットによる仮想的な物体形状を表現する先行研究がある⁴⁾。その場合、位置によって気流を正確に制御し、それを手に持った球面の装置で受ける構造が用いられた。しかし本研究においては、3次元の物体の形状を表す必要はなく、指先に「今触れた」といった程度の刺激を与えるだけで十分であると考えている。したがって、指先に直接気流を与え、素手で操作できる方法を選択した。

ここで空中映像インターフェース装置と空気ジェットによる触覚刺激装置を組み合わせた複合インターフェース装置、およびそれによる実験結果について報告する。

1.2 関連技術

独立行政法人情報通信研究機構 NICT (以下、NICT という) は、フローティングタッチディスプレイと呼ばれる空中映像表示システムを開発した。このシステムは、同所で開発した光学素子「DCRA (Dihedral Corner Reflector micro-Arrays, 以下、DCRA という)」と赤外線タッチパネルの組み合わせにより、空中映像を指で操作することができるという特長がある。

液晶ディスプレイの手前に DCRA を設置すると、DCRA を軸として線対称の位置に、上下方向に反転した液晶ディスプレイの実像が結像される。DCRA によって結像される空中映像は裸眼で見ることができ、3D 映画を見るときのような専用の眼鏡は必要ない。また、凸レンズや凹面鏡で結像させた映像とは異なり、視点の移動による映像の歪みや位置のずれが生じない。フローティングタッチディスプレイでは、DCRA により結像される空中映像

の位置に赤外線タッチパネルを配している。赤外線タッチパネルにはガラスなどがなく、枠にはめられた赤外線センサによって指の位置を認識する。指の移動に伴い液晶ディスプレイの映像を変化させることにより、指による空中映像の操作を実現できる。

2. 複合インターフェース装置の概要

2.1 システム構成

本研究では、フローティングタッチディスプレイと、空気ジェットによる触覚刺激装置を組み合わせた複合インターフェース装置を開発した。

本装置は、フローティングタッチディスプレイとパーソナルコンピュータ (以下、PC という) を USB 接続し、PC の画面映像を空中映像として表示する。また、赤外線タッチパネルで得た指の位置情報を PC で取得する。取得した指の位置に応じて、エアノズルから触覚刺激のための空気ジェットを噴射する。

エアノズルのトリガーはソレノイドにより制御される。ソレノイドのピンとエアノズルのトリガーを結ぶことで、電流の ON / OFF によるトリガーの操作が可能である。

ソレノイドを動かす電流の制御には、リレーを使用する。リレーの制御には、Velleman 社製の K8055 インタフェースボード (以下、K8055 ボードという) を使用する。K8055 ボードは PC と USB 接続でき、PC 上で複数の電氣的出力を制御することができる。K8055 ボードから電気信号を受け取ると、開いたリレーのスイッチが閉じ、ソレノイドを動作させる電流が流れる。以上の電子回路を図で表したものが図 2 である。

本装置では、エアテックス社の minimo をエアコンプレッサーに使用する。minimo は、最高圧力が 0.1MPa、騒音レベルが 40dB 以下、空気吐出量が約 3L / min (60Hz) である。

本装置の外観は、図 3 のようになっている。本装置では、トリガー式のエアノズルを 2 本使用した (図 5)。それぞれエアノズル A、エアノズル B とする。これらのエアノズルは口径に違いがあり、エアノズル A の口径は 2.5mm、エアノズル B の口径は 3.0mm である。口径の違いにより、空気ジェットの強さや拡散の程度が異なる。これらは、触感に影響を与える要素であると推測される。

フローティングタッチディスプレイの筐体の後方に触覚提示装置を設置した。このとき、エアノズルの位置が視覚的に把握されないように、穴を数箇所開けた板をエアノズルの前に設置した。

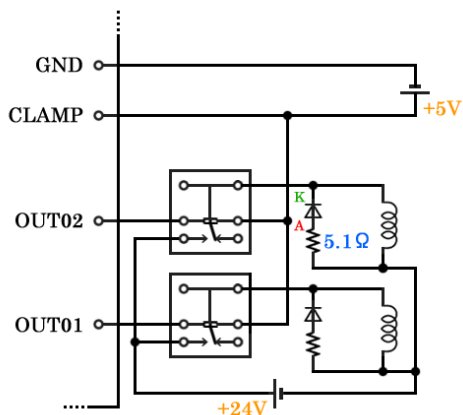


図 2 システム回路図
Fig. 2 Experimental Circuit.

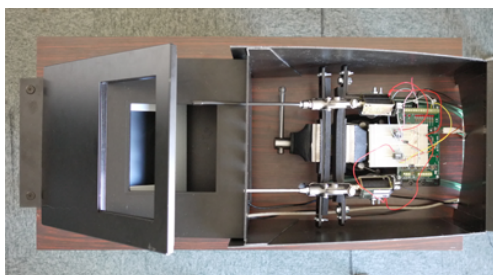


図 3 装置上面図
Fig. 3 Top View of Equipment.

3. 触覚刺激のシステム評価

3.1 実験条件

実験 A, 実験 B とともに, 被験者は神戸情報大学院大学の学生 (24 歳 … 31 歳) 計 16 名である。本実験は空中映像を正しく認識できる前提で行うため, 事前に被験者に空中映像を位置を指し示してもらったテストを行った。

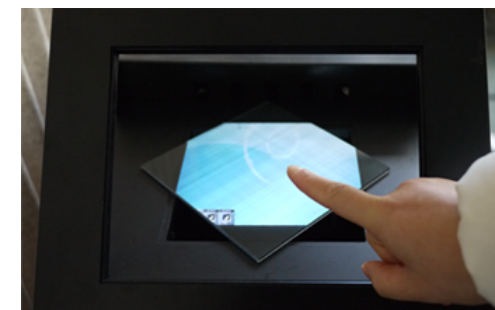


図 4 装置正面図
Fig. 4 Front View of Equipment.



図 5 エアノズル A (左) とエアノズル B (右)
Fig. 5 Air Nozzle A (left) and B (right).

実験のためのアプリケーションは, Python2.7 で開発した。

実験に用いる空中映像の大きさは, 横 132mm, 縦 82mm である。また, エアノズルの先端から空中映像までの距離は 145mm である。

実験に用いた機器の仕様は表 1 の通りである。

3.2 評価実験

本実験では, 次に挙げる 2 種類の実験を行った。それぞれ, 実験 A, 実験 B とする。

実験 A 触感を得るのに最適な空気ジェットの噴射時間を求める実験

実験 B 指の位置と空気ジェットの噴射位置のずれの許容範囲を求める実験

実験 B は, 実験 A で求めた噴射時間を用いて行うため, 実験 A の後に実施した。

実験 A の流れを図 6 に示す。実験 A では, 被験者がターゲットに触れると, 装置が空気ジェットの噴射時間を 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50ms の中から無作為に

表 1 実験機器の仕様

コンピュータ	TOSHIBA 製 CPU Intel Core 2 Duo P8700 2.53GHz メモリ 2GB OS Ubuntu Linux11.10
ディスプレイ	Crystage Incorporation 製 CR064DVT7C04 解像度 640 × 480
入力装置	NEXIO 製 Touch Screen, NIB Series
光学素子	NICT 製 DCRA

選んで噴射する．そして、その際の触感の有無について被験者に回答させた．

被験者への教示は、「指先に触覚（押された感覚）を感じたら、Y を押してください．そうでない場合は N を押してください．」であった．

実験 A では、被験者がターゲットに触れ、触感の有無について回答するまでの一連の流れを 1 サイクルと数える．実験 A は、8 名の被験者を対象に、各 20 サイクル、合計 160 サイクル実施した．実験終了後、空気ジェットの噴射時間の長短によって生じる触感の有無を集計し、その関係性について分析した．

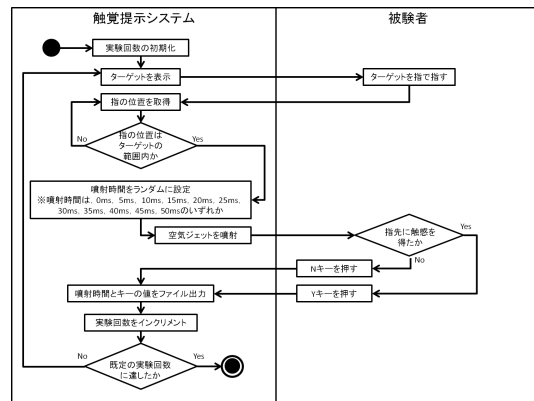


図 6 実験 1 の流れ

Fig. 6 Flow of Experiment (1).

実験 B の流れを図 7 に示す．実験 B では、2 本のエアノズルを用いた．ターゲットを無

作為に移動させ、被験者がターゲットに触れたとき、空気ジェットを噴射する．空気ジェットの噴射位置は固定されており、ターゲットに近い方のエアノズルが作動する確率を 9 割、ターゲットから遠い方のエアノズルが作動する確率を 1 割とした．すなわち、ターゲットの位置と空気ジェットの噴射位置は必ずしも一致しない．このとき、空中映像に対し、エアノズル A を左から 49mm、上から 41mm の位置に設置した．また、エアノズル B を左から 90mm、上から 37mm の位置に設置した．エアノズル A とエアノズル B の距離は約 41mm である．

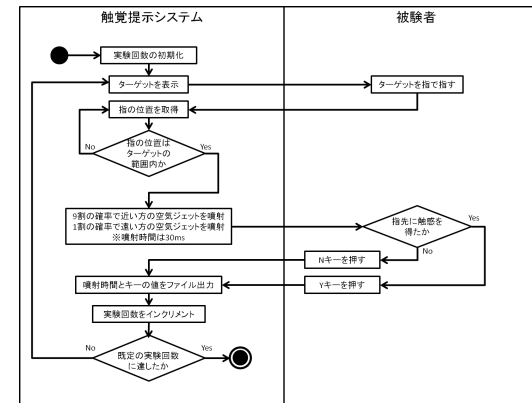


図 7 実験 2 の流れ

Fig. 7 Flow of Experiment (2).

実験 B では、実験 A と同様に、被験者がターゲットに触れ、触感の有無について回答するまでの一連の流れを 1 サイクルと数える．本実験は、8 名の被験者を対象に、各 20 サイクル、合計 160 サイクル実施した．実験終了後、ターゲットと噴射位置のずれによって生じる触感の有無を集計し、その関係性について分析した．

3.3 実験結果

実験 A の結果を分析したグラフを、図 8 に示す．図 8 からわかるように、空気ジェットの噴射時間の長短と触感の有無には関連性がある．空気ジェットの噴射時間が 30ms の場合、触感の認識率が最も高い．15ms 以下の場合には全く触感を得られなかった．一方、噴射時間が 35ms 以上になると、触感の認識率が低下した．したがって、触感を得るのに最適な空気ジェットの噴射時間は、30ms であるといえる．

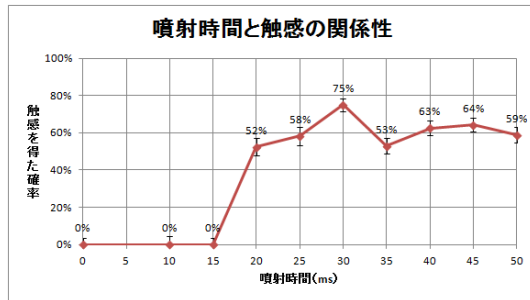


図 8 実験 1：噴射時間別の触感認識率

Fig. 8 Experiment (1); Rate of Tactile Recognition for Different Jet Times.

実験 B の結果をエアノズル別に分析した．エアノズル A の実験結果を図 9 に示し，エアノズル B の実験結果を図 10 に示す．また，それらを分析した結果を図 11 に示す．

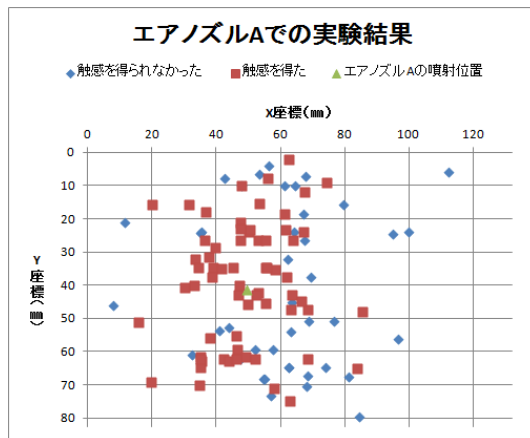


図 9 実験 2：触感認識位置分布図（エアノズル A）

Fig. 9 Experiment (2); Distribution of Tactile Recognition by Position (Air Nozzle A).

図 9 および図 10 から，エアノズル A およびエアノズル B は噴射位置を中心とした円状の範囲において触感を得られることがわかる．さらに，図 11 からわかるように，指と噴射

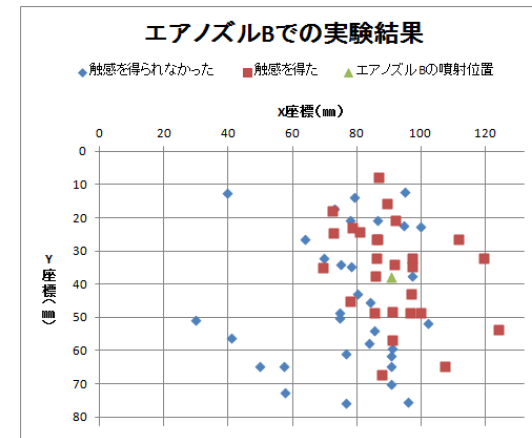


図 10 実験 2：触感認識位置分布図（エアノズル B）

Fig. 10 Experiment (2); Distribution of Tactile Recognition by Position (Air Nozzle B).

位置のずれと触感の有無には関連性がみられた．

エアノズル A は，ずれが 5mm 未満の場合，触感の認識率は 100%であるが，5mm を超えると認識率は徐々に低下していく．そして，ずれが約 55mm 以上になると，全く触感を得られないという結果になった．すなわち，エアノズル A で 100%の認識率を得るための許容範囲は 5mm であるといえる．

一方エアノズル B は，ずれが約 5mm 未満の場合でも，触感の認識率は約 60%程度であった．ずれが 20mm を超えた場合，認識率は 50%を切り，45mm 以降になると，全く触感を得られないという結果になった．すなわち，エアノズル B ではずれが無くとも 100%の認識率を得ることはできない．

3.4 考 察

実験 A において，噴射時間が 15ms 以下の場合に全く触感を得られなかった理由は，出力から噴射までに約 15ms の遅れが発生したためである．これは，噴射時間を極端に短くした場合，ソレノイドを制御するための電流が不足したためであるか，エアノズルとソレノイドの固定の甘さによる緩みから，トリガーを引く力の伝達遅延が発生するためである．この遅れは噴射時間を 15ms より長くした場合も発生していると考えられ，装置の応答時間を高めるための対策が必要である．

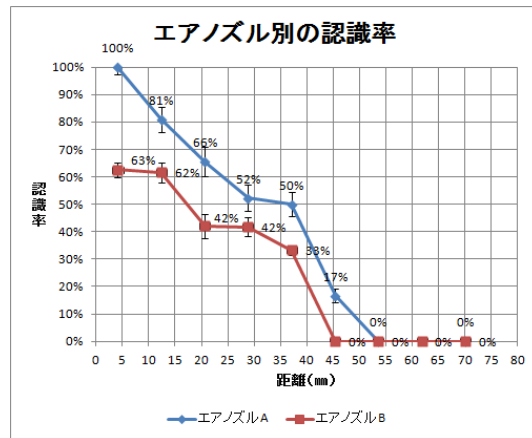


図 11 実験 2：距離による触感認識率の低下

Fig. 11 Experiment (2); Decline in Rate of Tactile Recognition by Distance.

一方、噴射時間が 35ms 以上になると触感の認識率が低下した理由は、空気を噴射し続けることにより、指先に触れたものが「風」であると認識してしまう傾向が強くなるためであると考えられる。ただし、これはソフトウェアで噴射時間を制御することにより対策が可能であり、ハードウェアの問題ではない。

また実験 B において、エアノズル B の触感の認識率がエアノズル A と比較して低い理由は、エアノズルの口径が大きく、指に到達するまでに空気ジェットが弱まったためであると考えられる。

さらに、空気ジェット噴射時に発生する大きな風切音が、実験結果に影響を与えた可能性がある。これは実験条件の問題であるが、今後実用化に向けて風切音を抑えるための対策が必要である。

しかしながら、実験 A および実験 B からいくつかの知見を得ることができた。すなわち、本装置においてユーザが最も実在感のある空中映像を体感するには、口径が 2.5mm のエアノズルから、指とのずれが 5mm 未満の空気ジェットを 30ms 噴射する必要があるということである。このとき、ユーザはほぼ 100% の確率で指先に触感を得ることができる。このことから、空気ジェットによって触感をつくりだすことは可能であるといえる。

4. 複合インターフェース装置の応用例

本装置は、空気ジェットを長時間噴射し続ける用途には向かないため、タッチ操作を主とした利用に向いているといえる。

例えば、銀行の ATM や駅の券売機などの不特定多数が利用するような機器、また医療現場や調理において操作する機器に本装置を導入することで、衛生的な環境を維持することができる。

さらに、東、山崎により研究されている空中音源装置⁵⁾⁶⁾と組み合わせることで、新感覚のアトラクションを実現できる。現在考えているアプリケーションの一つに花火を開花させるアプリケーションがある(図 12)。これは、表示された火薬玉に触れると花火が打ち上げられ、開花の場所から花火の炸裂音がするものである。視覚や触覚だけでなく、聴覚への刺激を組み合わせることで、より現実感の高いアプリケーションの提供が可能となる。



図 12 打上花火アプリケーションのイメージ図

Fig. 12 Image of the application of Fireworks.

5. 終わりに

5.1 残された課題

本研究により、触覚の実在感を得るためにエアノズルの形状等の特徴が重要な要素となることが明らかになった。またエアノズルより離れた場所での触覚刺激が困難であり、エアノ

ズルの本数を増やす必要がある。今後は最適なエアノズルを選定し、複数のエアノズルを用いて実用化に向けた実験を行う予定である(図13)。

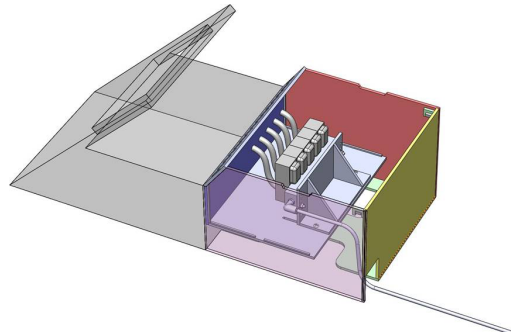


図13 新規製作の実験装置
Fig.13 New Test Equipment.

5.2 まとめ

本研究では、空中映像とのインタラクションの向上に際し、フローティングタッチディスプレイと空気ジェットによる触覚刺激装置を組み合わせた複合インターフェース装置を開発した。今後は、前述の課題を含め、現実感の高い空中映像とのインタラクションシステムの構築を目指す。

参考文献

- 1) 古川 博士, 平瀬 彬, 深井 伸悟, 前川 聡, マルコンシャンドル: 空中映像を使った手書きインターフェース; ヒューマンインターフェースシンポジウム 2010, 1502.
- 2) 前川聡, 仁田功一, 的場修: 微小2面コーナリフレクタアレイを用いた面対称結像光学素子-実像を結像する「鏡」-; 映像情報メディア学会技術報告, Vol.30, No.52, Page49-52(2006)
- 3) Suzuki, Y., Kobayashi, M., "Air Jet Driven Force Feedback in Virtual Reality," IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 25, pp. 44-47, Issue1, 2005.
- 4) 鈴木由里子, 井原雅行, 小林稔: 風インタフェースにおける多次元力覚提示; 情報処理学会論文誌, Vol.47, No.8, Page2754-2763(2006)
- 5) 東昌輝: 空中映像と空中音源による多感覚システム; 2012
- 6) 山崎丈史: 空中映像内空中音源の計測に関する研究; 2012

- 7) Akio Yamamoto Benjamin Cros Hironori Hashimoto and Toshiro Higuchi, "Control of Thermal Tactile Display Based on Prediction of Contact Temperature", Proceedings of the 2004 International Conference on Robotics & Automation, pp. 1536-1541, 2004
- 8) T. Hoshi, M. Takahashi, K. Nakatsuma and H. Shinoda, "Touchable Holography," Proc. of SGGGRAPH 2009, Emerging Technologies, article No.23, 2009.