

空中映像と空中音源の統合に関する研究

山崎 丈史^{†1} 東 昌輝^{†1}
マルコン シャンドル^{†1} 前川 聡^{†2}

The new optical device 'DCRA' can display floating images in free air¹⁾. The images are undistorted and can be observed at close range from different angles, thus they are suitable for hands-on interaction. However, the current device allows only small images and movement of objects can be difficult to recognize. It is known that combining sound with vision can enhance position sensing. We have investigated ways to place aerial sound sources inside the floating images, and developed a system using parametric speakers as a virtual aerial sound source. Our tests confirm that human position recognition is effective with this system.

Multi-sensory Interaction with Floating Images and Aerial Sound

TAKESHI YAMASAKI,^{†1} YOSHIKI HIGASHI,^{†1}
SANDOR MARKON^{†1} and SATOSHI MAEKAWA^{†2}

1. はじめに

新しい光学素子「DCRA」(Dihedral Corner Reflector Array)を用いて、任意の画像や動画等を空中映像として投影できる空中映像装置が開発され、新しいヒューマンコンピュー

ターインターフェースとしての応用が研究されている。空中映像では通常のディスプレイより臨場感が高い体験が得られる事が期待され、それを活かした新しいインターフェース装置の開発も進んでいる。

DCRAによる空中映像の一つの特徴は、映像が視察される距離や方向に関わらず空中に確定した位置に見られ、現実の物体の様な存在感がある。一方、DCRAの製造上の諸条件により、現在は小型(5~8cm程度)のものしか容易に製造できず、空中映像もその範囲内の寸法に制限される。この二つの要因より、空中映像は手が届く程の短距離で観察される、パーソナルな装置として実現される事になる。

空中映像は小型である故、静止した物体を観察したり、操作したりする用途には向いていると言える。しかしその反面、ダイナミックなコンテンツ、特に激しい動きのあるシーンを観察すると、その動く範囲は空中映像の狭い領域に限定され、動的な感覚は不十分となる。

一方、映像を音源と組み合わせる事ができれば、映像内の動きを音源の動きにより強調し、その複合的な効果によりダイナミックな内容がより現実的に観測できるようになる事が期待できる。先行研究でこのような相乗効果が指摘されている⁵⁾。

仮想的な空中音源を実現する方法として、複数のスピーカーによる音場再現やヘッドホンによる両耳の直接的な刺激等が提案されている。また超音波の干渉等をつかった実際の空中音源^{2)~4)}も提案されているが、現時点でまだ用意に採用できる技術はないと思われる。したがって、今回用いた手法は、ヘッドホンと同様に両耳を直接に刺激する仮想的な空中音源である。耳を個別に刺激するためパラメトリックスピーカーを用いて、身体に何も装着せずにインタラクションできるインターフェース装置を試作した。

以下は試作した装置の構成を紹介し、空中映像と空中音源を組み合わせた時の認識実験結果を報告する。

1.1 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を軸として面対称の位置に、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、

^{†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

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している。

2. 音源定位に関する実験

空中映像と空中音源を組み合わせるにあたって、利用者の音源定位特性を調べる必要がある。空中映像装置の場合、手元で表示される映像に触れ、インタラクションすることになるため、近距離で比較的狭い範囲内の位置検出が必要となり、空中音源により位置特定を支援する場合も、その音源の定位が近距離・狭範囲で必要となってくる。その際の誤差について、計測実験を行った。

2.1 実音源の定位誤差に関する実験

利用者の音源定位能力を計るため、簡易無響音室を構築した。無響音室の概要は図 1 に示す。吸音材を 1 面につき 3 枚使い、四方を囲むことで、1 辺約 3メートルの実験環境を作成した。壁の材料はストライダー社の F-2 プロファイル凸凹吸音材（粘着なし）30mm 定尺 1000*2000 である。図 2 は吸音材の性能グラフである。この吸音材を 1 面につき 3 枚使い四方を囲むことで 1 辺約 3メートルの実験環境を作成し、その中で実験を行った。無響音室内の概要は図 1 に示す。

室内にカーテンを吊らし、被験者はその後ろにあるスピーカーより発生する音の位置をレーザーポインターで示し、示された場所を記録した。スピーカーを被験者との距離は 100cm の位置に置き、その位置から被験者をつなく直線の横垂直方向に ± 30 cm 以内の位置にランダムに 10 回動かして測定を行った。スピーカーから 2kHz の正弦波を出し実験を行ったが、正弦波では位置を特定しにくかったためスピーカーから音楽を発生させ実験を行った。結果を図 3 に示す。

実験結果からほとんどの測定で誤差 5cm 以内に収まっていることが読み取れる。被験者の耳の高さを 150cm と仮定すると角度誤差約 2 度程度となる。誤差が大きかった測定データを見てみるとスピーカーの位置が左から右、右から左と左右に大きく振れた時であることがわかる。これらの実験結果から人間の聴覚による位置特定能力は、空中映像内の物体位置特定に使えるものだとわかった。また正弦波のような単調な音は映像位置の特定には使いにくいということもわかった。

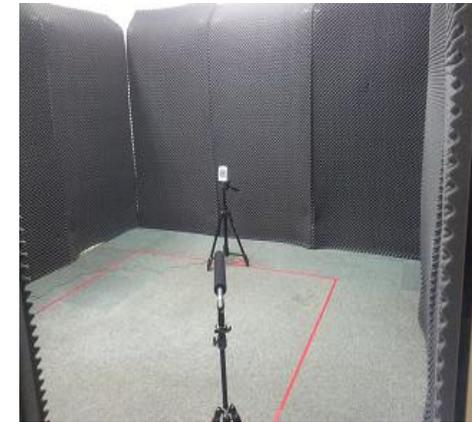


図 1 無響音室の概要
Fig. 1 Anechoic Room.

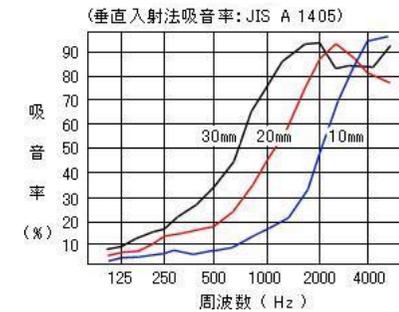


図 2 吸音材の性能グラフ
Fig. 2 Characteristics of the Sound Absorbing Material.

2.2 仮想空中音源の定位誤差に関する実験

左右の音量差をどの程度に設定すれば人間の感覚でどの程度動いたように感じるかを測定する。音源にはパラメトリックスピーカーを使用する。

パラメトリックスピーカーとは超音波を利用したスピーカーで、指向性が高くサイドローブが極めて小さいという優れた音響特性を有する。パラメトリックスピーカーはパラメトリックア

	被験者1			被験者2		
	スピーカ位置 (cm)	聞こえた位置 (cm)	誤差 (cm)	スピーカ位置 (cm)	聞こえた位置 (cm)	誤差 (cm)
1回目	-23	-24	-1	-9	-8	1
2回目	-11	-6	5	-2	-1	1
3回目	3	6	3	-6	-3	3
4回目	22	24	2	21	26	5
5回目	-17	-15	2	-29	-3	26
6回目	-18	-15	3	12	22	10
7回目	-25	-26	-1	25	26	1
8回目	10	21	11	-13	7	20
9回目	27	29	2	6	-2	-8
10回目	-4	-6	-2	-2	-2	0

図3 スピーカの音源定位実験結果
Fig. 3 Sound Localization Results.

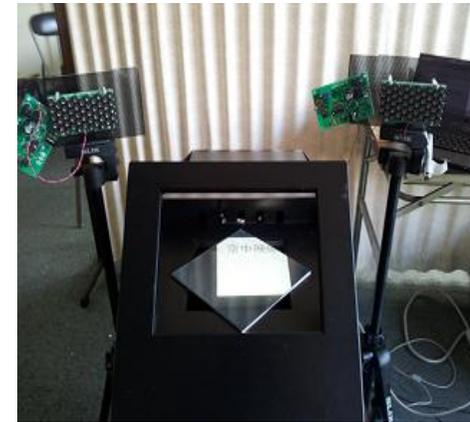


図4 仮想空中音源装置
Fig. 4 Virtual Aerial Sound System.

レイというものが基礎となっており、パラメトリックアレイとは周波数の接近した2つの大きな振幅の超音波ビームを同方向に、しかも同時に放射すると、空気など音を伝える媒質の非線形性によって、発生する差音の仮想音源のことである。

パラメトリックスピーカの指向性が高いという特徴を利用し、2台のパラメトリックスピーカの音を片耳ずつに当てることができる。そうすることにより片方の耳に入ってくる音は1台のパラメトリックスピーカの音だけになり、もう1台のパラメトリックスピーカの音に影響されず左右耳に入る音の音量差を調節することができる。

実験のためフローティングタッチディスプレイの左右にパラメトリックスピーカを設置し、パラメトリックスピーカからの音波が片方ずつの耳に当たるように角度を調節した。図4はその写真である。

図3の実験装置を使い、左右の音にランダムな音量差を与えて計測した。音量は右に90段階、左に90段階が限界値のプログラムで左右30段階ずつまでの間のランダムな値を使い実験する。30段階に設定したのはそれ以上にするとフローティングタッチディスプレイから大きく外れてしまったからである。また2台のパラメトリックスピーカから流す音は音量以外は同じにした。

実験した被験者4人分の結果を図5に示す。

4人の被験者のうち2人が右に傾いて聞こえている傾向があった。これはパラメトリック

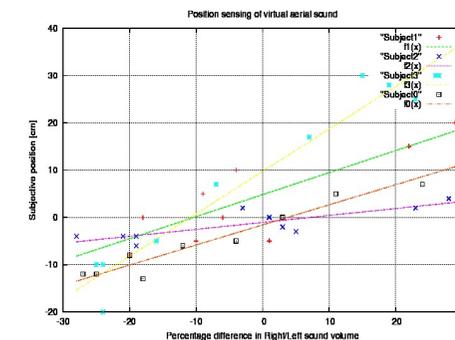


図5 仮想音位置特定実験結果グラフ
Fig. 5 Position Recognition with Virtual Aerial Sound.

スピーカが耳にうまく当たらなかったのかそもそも右に傾いて聞こえやすいという傾向があるのかもしれない。人によって左右の移動が激しかったりほとんど移動しなかったりする。少々右に傾く傾向はあっても音の位置が右か左かはだいたい合っている。また実験中は前の計測位置と比べてしまう傾向があるように思われる。そのため最初の測定結果を低く出してしまつとその後ずっと測定結果が低くなってしまうという結果になってしまったのでは

ないかとも予測される。実験データも4人分しか取れなかったが、今回はこのデータから仮想音位置をキャリブレーションし、フローティングタッチディスプレイと組み合わせ多感覚システムを作成する。

3. 終わりに

3.1 残された課題

今回の装置で実現した仮想的な空中音源では、音源位置の認識は特定の場所で、限られた範囲でしかできず、また音源を認識する方向にも個人差が見られている。これらの制約を取り除くため、実際の空中音源の実現について引き続き調査・研究を進める必要がある。

また空中音源と空中映像による多感覚システムによって、提示された物体の位置や移動等の認識においてどれ程の相乗効果が認められるのか、より定量的に調査・評価する予定である。

さらに、このようなシステムを用いる事によって、どのような場面でインタラクションを効率化できるのか、様々なアプリケーションにおいて検討する必要もある。

3.2 まとめ

本研究では、空中映像を使ったインタラクションシステムにおいて、特に映像内の物体に位置・移動を強調する効果を期待し、空中音源と組み合わせる事に寄って多感覚化を図った。開発したシステムで仮想的な空中音源の位置認識について確認ができ、その特徴について一定の知見が得られた。今後は開発したシステムで多感覚化の効果をより定量的に調査し、実用化に必要な基礎データの取得に取り組む予定である。

参 考 文 献

- 1) 前川 聡, マルコンシャンドル: 空間映像による対面型コミュニケーション; 3D コンファレンス 2009 講演論文集, P-17, PP-149-152.
- 2) 矢田淳也, 北川和則, 米沢義道, 伊東一典, 橋本昌己: パラメトリックアレイビームによる空中音源, 電子情報通信学会 EA94-37, pp.25-30, 1994
- 3) 北川和則, 米沢義道, 伊東一典, 橋本昌己, 植松英洋: パラメトリックアレイビームによる空中音源 (III), 電子情報通信学会 EA96-50, pp.51-58, 1996
- 4) 中澤達也, 米沢義道, 伊東一典, 橋本昌己, 金子浩昌: 放物, 円弧反射面による広角パラメトリックアレイ空中音源, 電子情報通信学会 EA2001-55, pp.35-40, 2001
- 5) 鈴木 陽一: マルチモーダル情報処理時代と音響技術, Panasonic Technical Journal, Vol.54, No.4, pp.37-42, Jan.2009.
- 6) 吉田 真, 岡崎 哲夫, 河田 悦夫, 管村 昇, 鉄谷 信二, 戸井田 徹: 分散協調メディア

- シリーズ, ヒューマンインタフェースのデザイン; 共立出版, はじめに, P118, (1995).
- 7) 白石あゆみ, 品川徳秀, 寺田達也, 中川正樹.: ペン・ペーパーデバイスを用いた手書きブログ; ヒューマンインタフェースシンポジウム 2009, 3411.
 - 8) Doug A. Bowman, Jr., Joseph J. LaViola, Ernst Kruijff, Ivan Poupyrev: 3D コーザインタフェース; 丸善株式会社, 10章, (2005).