

視覚と力覚・触覚を同時提示するディスプレイの開発

電気通信大学情報学専攻 准教授 水野 統太
東京工芸大学工学部 教授 久米 祐一郎

1. はじめに

バーチャルリアリティ (Virtual Reality:VR) とは、そこに存在していないものをあたかもそこにあるように実感として知覚させる技術である。この VR という用語は 1980 年代後半から使われ始め、自然な 3 次元空間を作り出す「等身大の空間性」、作り出された空間内で自由に行動する「実時間性」、その環境へ自分が入り込むように感じる「自己投射性」という 3 要素を基本として発展してきた^[1-3]。

しかし近年の情報技術の発展により、最近では、現実の環境に CG 等を組み合わせて現実を拡張しようとする拡張現実 (Augmented Reality:AR)、現実の環境と仮想空間を混合しようとする複合現実 (Mixed Reality:MR)、現在の環境と過去の環境を入れ替えて錯覚させようとする代替現実 (Substitutional Reality:SR) など、VR の基本 3 要素が応用され、リアリティを追求するさまざまな技術へと発展・細分化されている。

あたかもそこにあると感じる感覚・体験 (VR 感覚) を作り出すさまざまな手法がある。その中で、複数の感覚を適切に刺激し、高い臨場感を得ようとする多感覚情報処理というものがある。

この方法は、一つの感覚への刺激で得られる VR 感覚よりも、より高い臨場感のある VR 感覚が得られるため、現在、さまざまな研究・開発が進められている^[4-8]。

多感覚情報処理を用いて VR 感覚を作り出すシステムや装置のことをマルチモーダルディスプレイと呼ぶ。

マルチとは「複数の」を示す接頭語で、モーダルとは、「形式上の」とか「形態上の」という意味である。マルチモーダルとは、「複数の手段による」とか「複数のモードを持つ」などの意味を表すが、VR の分野では「複数感覚の」あるいは「多感覚の」という意味で使われることが多い。

また、ディスプレイとは TV や PC モニタのように、視覚に対する映像や画像表示装置のことを指す場合が多いが、その他にも、聴覚ディスプレイや触覚ディスプレイなどがある。つまり、ディスプレイとは、視覚、聴覚、味覚、嗅覚および体性感覚の五感や、傾斜や加速度を知覚する前庭感覚など、それぞれの感覚に対して適切な刺激を与え情報伝達する装置のことを示す。これらのことから、マルチモーダルディスプレイとは、複数の感覚に対して情報を伝えるために、複数のセンサや刺激装置を用いて、刺激する速さや強さ、タイミング等を制御できる

装置のことである。

これまでのマルチモーダルディスプレイの研究開発において、特に、視聴覚ディスプレイに表示された物体に対し、接触、力や姿勢・運動を体性感覚へ、加速度や傾きを前庭感覚へ感覚情報として伝えようとする試みは多い。

多感覚を利用したシステムの実例としてテーマパークの揺動体感型アトラクションがある^[9]。大きなスクリーンに映像を提示することで視覚を刺激し、映像の動きに合わせて座席が上下左右に動き回転することによって体性感覚や前庭感覚を刺激する。これにより、実際に3次元空間内を移動して、あたかも飛んでいるかのような高い臨場感のVR感覚を与えている。しかし、高い臨場感を作り出すため、広視野の大きなスクリーンに映像を投影し、内側から眺めるような大きな装置にする必要があるため、広くは普及していない。最近では、ヘッド・マウント・ディスプレイ（HMD）が小型化・軽量化・高解像度化・広視野化され価格も低下して、この問題も解決されつつある。

また、映像に映し出された物体を持つったり触ったりする感覚を作り出すために研究開発されたシステムは、装置の一部を持ち、それに動力源からの力や触覚情報を伝達する機構が多い。このような装置を使用する場合、装置自体が地面に固定されているため、身体の動作範囲が限定されてしまう。最近ではこの問題を解決するため、小型・軽量化・無線化された装置の研究開発も行われている^[10-11]。

このように、これまで研究開発されてきた装置は、大型であったり、身体の動作範囲が制限される等の問題があるものも多く、結果として、用途が制限されたり、使用者に違和感を与えてしまっていた。これらの背景から動作を拘束しない小型なVR感覚を作り出すマルチモーダルディスプレイの開発が望まれている。

一方で、近年の情報技術の発展により、携帯

端末やタブレット型PC、ポータブルゲーム機のように手に持って操作する装置が広く使用されるようになってきた。これらの装置へアプリケーションを実装することも容易になってきており、これらの機器を用いたVRの研究開発も進んできている。この状況を考慮し、我々は、小型で動作を拘束しない手持ち型のマルチモーダルディスプレイを研究開発している^[12-13]。

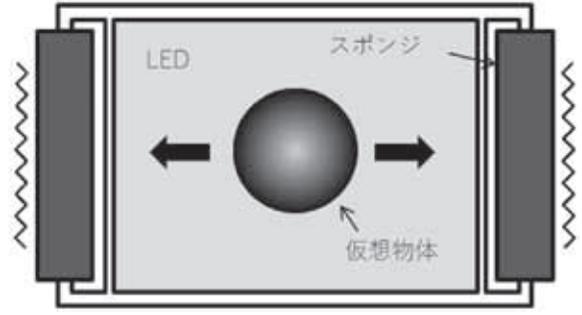
2. 手持型マルチモーダルディスプレイの開発

我々は、次ページの図1に示すような両手で把持するタブレット型のマルチモーダルディスプレイを開発した。フレームにはアルミを使用し、表面に11型の液晶ディスプレイ（LCD）を、裏面にリニアサーボモータにより移動する錘（222g）を取り付けた。また、左右の持ち手、グリップ部分には振動モータが取り付けられており、ディスプレイを持った時に手のひら全体に振動が伝わるようスポンジカバーを被せた。振動モータは携帯端末に使用される小型コイン型のものである。ディスプレイ全体の重さは、ある程度の時間、両手で持って苦にならないことを考慮して約1kgにおさえた。

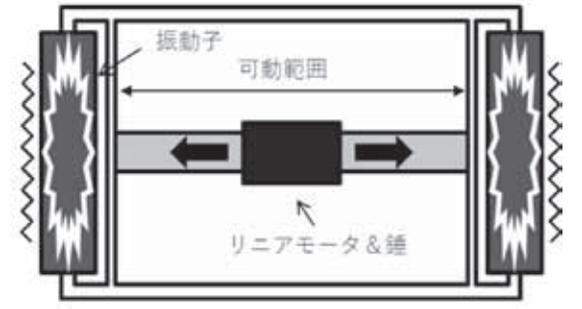
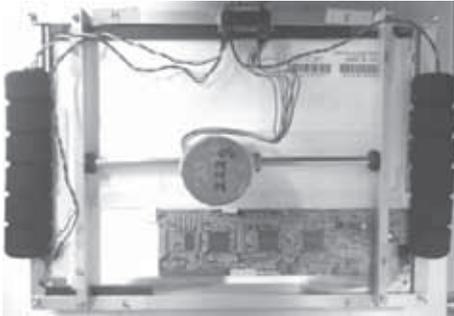
錘はリニアモータにより移動し、装置全体の重心もそれに伴って移動する。これによって手に加わる力を変化させることができる。錘を装置の端まで移動させた場合は、左右の手に加わる力の差は大きくなり、錘の移動量が小さい場合には力の差は小さくなり、錘が中央にあるときは両手に加わる力は等しい。

LCDに物体を表示し、物体の移動に合わせて裏面の錘をリニアモータによって左右方向に移動させたり、左右に取り付けられた振動モータの振動の強さを変化させたりすることが可能である。

両側のグリップ内の振動モータを短時間強く



(a) 表面



(b) 裏面

図1 開発したマルチモーダルディスプレイと見取図

振動させれば、映像中の衝突などの衝撃を表現することができる。また、両側の振動モータの振動強度を加減することにより、両手間に振動の移動を表現することができる。例えば右側の振動強度を徐々に小さくし、同時に左側の振動強度を徐々に大きくすると、振動感覚が左へ移動するように感じる。

この機構によって視覚表示、錘の移動、振動モータの強度を適切に制御して情報提示を行うと、LCDに表示された物体があたかも質量を持って移動しているようなVR感覚を作り出すことが可能となる。

試作したシステムではLCDに提示する映像、リニアモータと振動モータの制御は外部に設けたPCによって行い、電力も外部からコードで供給しているが、将来はすべて手持ちデバイス内に実装することを考えている。

3. 開発したディスプレイの特徴

この開発したマルチモーダルディスプレイを用いて感覚情報を伝達して効果的にVR感覚を作り出すためには、コンテンツが必要である。しかしこのコンテンツは、ただ単に複数の感覚に対して刺激を与えれば必ずVR感覚を得られるというのではなく、適切な強さの刺激を適切な速さやタイミングで矛盾無く提示しなければ高臨場感のあるVR感覚は得られない。

人間の感覚に対して適切な刺激、刺激の強さ・速さ・タイミングを考えてコンテンツを作成することが重要である。適切な刺激、刺激の強さ・速さ・タイミングは、感覚間に作用する相互作用・相乗効果を考えればよい。複数の感覚に対して適切な刺激を与えると、それぞれひとつの感覚に対する刺激よりも大きな作用が生まれる。この作用は相互作用もしくは相乗効

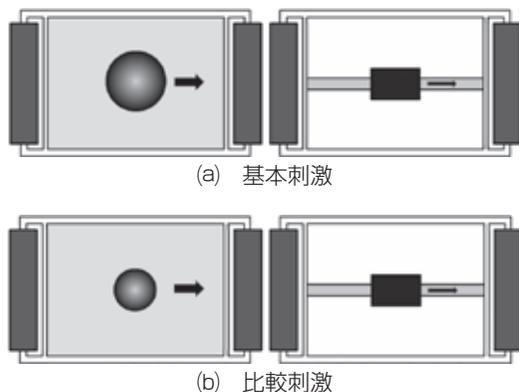


図2 映像情報の大きさを変化させたときの重さ感覚を調べる実験

果と呼ばれる。この相互作用・相乗効果が起こる適切な刺激条件は、使用する装置によって異なっている。

そこで開発したディスプレイを用いて、どの条件の時に相互作用・相乗効果が起こりやすいのかを実験的に調べた^[14]。一例として映像情報の大きさを変化させたとき、重心移動による重さ感覚の変化について比較実験の結果を以下に説明する。

被験者にディスプレイを両手で持ってLCDを見てもらい、図2(a)に示すようにLCDに球を表示し、後ろに取り付けた錘と一緒に同方向に移動させた。その後、図2(b)に示すように球の直径をいくつか変化させ、同様に移動させた。(a)と(b)で手に感じた重さ感覚を比較した。

その結果、映像情報として提示した物体が大きくなるにつれ、重さ感覚も大きくなった。このことから、LCDに表示される物体の大きさの視覚情報を変化させると感覚間の相乗作用・相乗効果も変化することが分かった。

次に、映像情報と重心移動による力情報に加え振動情報を追加すると、視覚と重さ感覚によるVR感覚よりも臨場感が向上するか調べた。

前の比較実験と同じように図2(a)のように提示した後、LCDに表示している球の大きさ、手持ち部分の振動の強さをさまざまに変化させ

て、それぞれの条件で重さ感覚が変化したか比較実験した。

結果として、映像情報と重心移動による力情報の2つの情報よりも映像情報と重心移動による力情報、振動情報の3つの情報の方が、臨場感が向上した。また、3感覚の刺激強度が高くなる方向を同方向にそろえた場合に、錘の重量がより重く感じられ、そろえない場合、条件によっては錘が軽く感じられることが分かった。

以上のことから、取り付けている錘の質量は変わらないにもかかわらず、重さ感覚が変化するという特性は、重さ感覚を視覚や振動情報により制御できることを示している。

今回開発した小型デバイスでは、小型のリニアモータによって移動できる錘の質量には限界がある。そのためコンテンツでは提示する力変化を、視覚情報や振動触覚情報との相互作用・相乗効果によって拡張することも考えられる。

4. まとめと今後

本ディスプレイを持ったとき、映像情報とともに錘を動かして手に加わる力が変化すると、LCDに表示された物体があたかも質量を持っているようなVR感覚が起こる。

この感覚は映像情報のみ、もしくは重心移動による力情報のみでは効果は小さい。このことから、本ディスプレイのように小型の場合であっても、視覚と重さ感覚の間に相互作用・相乗効果を起こさせ、映像や錘の移動、振動の変化により重さ感覚を制御できる可能性が見出せた。

しかし3感覚について、それぞれ逆方向への刺激について感覚間の相互作用・相乗効果がどのように起こるのか等の検討をまだ行っていない。通常の現実世界を考えると、物体が移動すると移動した方向側の重さや振動の強さが増加するはずである。本ディスプレイを用いて、逆方向刺激による感覚間の相互作用・相乗効果を

コントロールできれば、通常では起こりえない現象、つまり、物体が移動すると移動した方向側の重さや振動の強さが減少するという状況を生み出すことが可能である。これは、現実を拡張しているARという見方もできる。現在、ARを実現するディスプレイの多くは、映像に対しCGを追加・拡張するものが多く、視覚以外への感覚に対するAR技術を用いたディスプレイは少ない。これらのことから本ディスプレイの構成は、VRもARも両方のVR感覚を再現・構築可能であり、いろいろな可能性を秘めていると考えられる。

これらの特徴を生かし、錘の位置を制御できる機能を手持ち型のタブレットやゲーム機などのデバイスに実装することにより、より体感的な経験が可能なアトラクションやゲーム開発などコンテンツ作成への応用が考えられる。

このほか、視覚や触覚がどの程度重さ感覚に影響を与えるのか、具体的な重さや時間等の検討について感覚間の相互作用・相乗効果がどのように起こるのかなどの検討を行っていない。

今後はこれらをひとつひとつ検証することで特性を明らかにし、応用の開拓へも結びつけたい。

参考文献

- (1) 館暲監修：バーチャルリアリティの基礎 1 人工現実感の基礎；培風館（2000）
- (2) 廣瀬 通孝，東京大学バーチャルリアリティ教育研究センター：とことんやさしいVRの本；日刊工業新聞社（2019）
- (3) 服部 桂：VR 原論 人とテクノロジーの新しいリアル；翔泳社（2019）
- (4) http://www.toyota.co.jp/jpn/tech/safety/concept/driving_simulator.html (2019.12月現在)
- (5) 近江政雄：画像と自己運動感覚，仮想現実システム；映像情報メディア学会誌，59(9)，pp. 1218 - 1223（2004）
- (6) Y.Fukui, M.Shimojo : Recognition of virtual shape using visual and tactual sense under optical illusion, IEEE Int'l Workshop Robot and Human Communication, pp. 294 - 298（1994）
- (7) 水野統太，久米祐一郎：“速度と大きさの視覚情報と姿勢が傾斜知覚に与える影響の検討”，電気学会論文誌 A, 135(3)，pp. 163 - 167（2015）
- (8) Saeed Sokhanvar, Javad Dargahi, Siamak Najarian, Siamak Srbatani. : Tactile sensing and Displays ; WILEY（2013）
- (9) http://www.tokyodisneyresort.jp/attraction/detail/str_id:tl_tours/（2019.12月現在）
- (10) Y. Kohno, S. Walairacht, S. Hasegawa, Y. Koike and M.Sato, “Evaluation of Two-Handed MultiFinger Haptic Device SPIDAR- 8”, ICAT 2001, pp. 135 - 140（2001）
- (11) T. Amemiya, H. Ando and T. Maeda, “Virtual Force Display Direction Guidance using Asymmetric Acceleration via Periodic Translational Motion”, World Haptics Conference 2005, pp. 619 - 622（2005）
- (12) N. Nakamura and Y. Fukui, “Development of a Force and Torque Hybrid Display”, World Haptics Conference 2005, pp. 633 - 634（2005）
- (13) Tota Mizuno, Jun Maeda, Yuichiro Kume, “Force Sensation Affected by Visual Stimulation with a Hand-held Multimodal Vision-tactile-force Display”, The Nineteenth International Symposium on Artificial Life and Robotics 2014 OS 16 - 1（2014）
- (14) 水野統太，久米祐一郎：感性に訴える製品感覚間の相互作用と視覚・体性感覚同時提示デバイスの開発，(株)技術情報協会，459 - 466(2018)