

バーチャルリアリティ環境における物体操作

広田 光一（大学院情報学環・准教授）

1. はじめに

人は目や耳などの感覚器を通して環境を知覚・認識し、手足などの筋肉の運動を通して、環境に作用したり環境にある物を操作したりする。バーチャルリアリティ（VR）は、計算機により運動を計測し、感覚情報を生成することで、実環境に代わる新しい環境を構築する技術である。VRという言葉が使われるようになったのは1980年代末頃である。VR技術を象徴するインタフェースデバイスとして、頭部搭載型ディスプレイやデータグローブが提案された。これらは、運動や感覚の情報を人間と計算機の間で直接的に結合するという概念を端的に示したものであった。

現在のVR技術は、様々な面で進歩した。視覚提示は、ディスプレイの解像度と描画性能の

向上により、精細さが飛躍的に改善した。運動計測も、画像処理技術の進歩により、身近に利用できるようになった。しかしながら、VR環境に対する作用や操作は、今なお現実的とは言えず、実用にも遠い状況である。もちろん、ゲームなどのインタラクティブなコンテンツには身体運動を利用するものや、空間的なジェスチャを利用するものがあるが、実環境とのインタラクションに比べて非常に単純化・模式化されている。これではまだ実環境に代わる環境とはいえない。このような観点から、筆者らは、VR環境において実環境と同じような物体操作を可能にする技術について、システムの構築と人間の特性の両側面から検討している。

2. 研究概要

2.1 手のモデル

人と物は接触することで、双方の状態が変化することから、この問題はそれらが連成した問題である。状態の変化とは、たとえば、物体が運動したり皮膚が変形したりすることである。

VRシステムにおいては、人は実環境にいて、操作の対象となる物はモデルとして計算機の中にあるため、感覚提示や動作計測のデバイス類を介して相互に関係づける必要がある。このこ

とは、空間的な分解能や時間的な収束性に問題を生じる。たとえば、接触の際に皮膚に作用する力の分布を表現するのに十分な自由度をもつ力覚ディスプレイはない。そこで、人の一部をモデル化して計算機の中でシミュレーションにより応答を生成することが考えられる。たとえば、手のモデルを計算機の中につくり、人の状態としては手指の関節角のみを与え、皮膚の変形はシミュレーションで計算することが考えられる。これにより、接触に伴う変形や境界面上での接触の状態などは、デバイスを介することなく、計算機の中に閉じた計算を行うことがで

2.2 感覚フィードバック

多くの場合、操作には接触や力の感覚を伴う。残念ながら、把持操作にともなう触力覚を提示する技術は十分に確立されていない。手の骨格のもつ20以上の自由度に力やトルクを提示するデバイスは実現が困難であり、また、体の中でも特に分解能が高いとされる手および指の表面に相応の解像度の触覚刺激を与えるデバイスも実現されていない。

触力覚の欠如や不正確さは、操作において様々な問題を生じる。たとえば、接触力や拘束力が発生しないと、指や掌が物体に容易に侵入することになり、その状態の認識も難しくなる。つかんだ物をはなそうとしても、指が物体の内部に侵入しているため、適切なタイミングで物から指を離すことができず、操作性が低下する。接触の状態を、触力覚の代わりに視覚的に表現する方法はこれまでも提案されているが、視覚の及ばない範囲での操作には使えな

きるようになる。計算された力を人に提示すれば、現実と相似な関係が得られる。

このような考え方にもとづいて、筆者らは手のモデルの構築を試みている(図1)。有限要素法により軟組織をモデル化し、関節角より計測される骨の位置と、物体との接触により表面に与えられる境界条件をもとに、手指の変形を計算する。この方法では、たとえば、関節の部分のしわの発生も計算により生成されることになる。現状では、軟組織に均質な材質を仮定しているが、今後の検討の中ではより精緻なモデル化も検討したい。

い。そもそも、触力覚が効果的に利用されるのは、視覚がない状況であることが多い。

視覚によらない表現として、筆者らは、聴覚による代替を検討している(図2)。具体的には、指や掌の上での接触の位置や強さ、エッジの触感などの触力覚情報を、音程や音色、音量、方向定位などの聴覚情報に変換・代替して提示する。手探りで物の形を認識したり、物体を探り当ててつかんだりする作業が、聴覚代替によっても可能であることを確認しているが、パフォーマンスは実環境での作業に比較してまだ劣っている。なお、このような感覚代替に関する実験では、習熟の程度が結果に大きく影響し、人の適応力を再認識させられる。たとえば車の運転のように、有用性が高ければある程度の習熟の手間は許容される場合がある。実用的には、人の適応力に頼る解を考えてもよいかもしれない。

2.3 対象の認識

操作や動作とそれに伴う感覚情報との関係はVR環境の実現において重要な要素である。この関係を通して、人は環境や対象物の従う規則性や法則性を知ることができ、見た目では得られない深い意味での現実感が構成されると考えられている。このような関係性は、特に操作においては、触力覚によっても認識される。この場合の法則性は、物の機械的性質を反映したものとなる。たとえば、変形と力の関係からやわらかさの情報が得られる。もっと複雑な関係についても、人はある種のモデルを推定することができて、たとえば、箱を振ってみることで、

2.4 操作とスキル

人は学習によって巧緻な動作を行うことができるようになる。このように学習で獲得される動作能力のことをスキルと呼ぶ。もしVR環境が現実と同様の知覚と操作を提供しているのであれば、VR環境においても実環境で得たスキルを活用できるはずである。逆に、スキルの活用を阻害している要因がわかれば、それがVR環境構築の技術的課題であると考えられる。

筆者らは、スキルを必要とする操作をVR環境で行うことで、VRシステムについて問題発見的な検討をおこなっている。たとえば、お手

その中身がある程度知ることができる。

逆に、振る動作とそれに伴う力や振動の関係を表現するデバイスをつくることができれば、箱を振ってみたのと同じ体験ができるはずである。運動と力の関係は、物理シミュレーションによって計算することができ、様々な法則性を再現することが可能である。このような考えに基づいて、デバイスと比較的単純な物理モデルを試作してきている（図3）。たとえば、箱の中身の重さや反発の強さなどの違いをおよそ判別できる程度の提示が可能であることを確かめている。

玉は古典的なボール遊びであるが、VR環境ではまだ現実ほど思い通りにボールを操ることが難しい（図4）。これには、上述の感覚フィードバックの問題や、VR環境内の手とボールの接触と応答の計算にみられる現実との乖離などが影響していることが明らかになっている。一方で、被験者毎のパフォーマンスを調べると、現実環境で操作が上手な人は、VR環境でも上手であることがわかり、すなわち、ある種のスキルがVR環境においても利用できることが示唆されている。

3. おわりに

最近になって、光学式モーションキャプチャにより、手の骨格モデルを比較的容易に計測できるようになってきた。従来のグローブ型のデ

バイスは比較的高価で、装着の手間などの問題もあったのに対して、新しい技術では比較的安価なデバイスで非装着での計測が可能になり、

これにより、手によるVR環境の操作がより身近な体験になると期待される。このような体験

を現実的で実用的なものにする技術をこれからも追求していきたい。

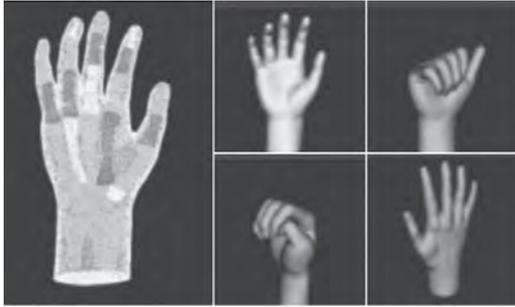


図1 FEMによる手のモデル



図2 聴覚による触力覚情報の代替

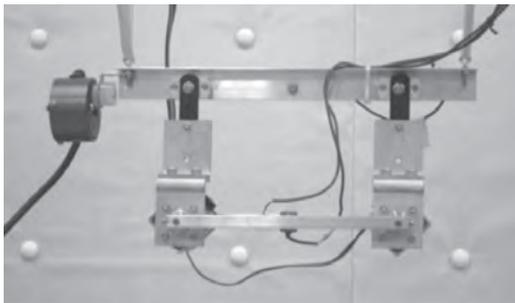


図3 振ってみる感覚を提示する装置



図4 VR環境での「お手玉」



広田 光一 (ひろた こういち)

1965年2月22日生まれ

[専門領域] バーチャルリアリティ、ハプティクス

[著書・論文]

- 水鳥 未那人, 西 晃生, 広田 光一, 池井 寧: 素早い動作を可能としたVR環境の構築及び検証; 日本VR学会論文誌, 17(4), 429-438, 2012
- Yasuhiro Tanaka, Koichi Hirota: Shaking a box to estimate the property of content; Proc. EuroHaptics 2013, 564-576, 2012
- Koichi HIROTA, Yasushi IKEI: Switching Torque Converter: Concept and Preliminary Implementation; J. System Design and Dynamics, 6(4), 386-400, 2012
- Koichi Hirota, Yoko Ito, Tomohiro Amemiya, Yasushi Ikei: Generation of Directional Wind by Colliding Airflows; Proc. WHC 2013, 509-514, 2013
- 広田 光一, 田川 和義: 計測にもとづくインパルス応答変形モデルの構築; 日本VR学会論文誌, 18(2), 171-180, 2013

[現在の所属] 情報学環 先端表現情報学コース

[所属学会] 日本バーチャルリアリティ学会、ヒューマンインタフェース学会、日本機械学会