

タブレット型ハプティックデバイス SPIDAR-Pad の開発

田付 航¹ 和田 洸一¹ 田島 優輝² 柴田 史久³ 木村 朝子³

^{1,3} 立命館大学情報理工学部 〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1

² 株式会社 KDDI 総合研究所 〒356-8502 埼玉県ふじみ野市大原 2-1-15

E-mail: ¹{tazuke, k-wada}@rm2c.ise.ritsumei.ac.jp, ²yk-tajima@kddi.com
{fshibata, asa}@is.ritsumei.ac.jp

あらまし バーチャルリアリティ分野では HMD を装着して体験することを想定した様々な触覚提示デバイスの研究が行われている。しかし、視聴覚ディスプレイとしては HMD よりもタブレットやスマートフォンの方が一般的に普及している。そこで、本研究ではタブレットに脱着可能な張力型力覚提示デバイス「SPIDAR-Pad」を提案する。本デバイスは複数モータがそれぞれ独立方向の張力を生成し、ユーザに 3 次元的な力覚を提示する。本論文ではその使用感に関する評価結果を報告する。

キーワード VR, 触覚, デバイス, SPIDAR

1. はじめに

バーチャルリアリティ (VR) 分野では仮想空間内のコンテンツとの 3 次元的なインタラクションの臨場感向上を目的として、様々な触覚提示デバイスが提案されている。VR の視聴覚ディスプレイの代表例としては、ヘッドマウントディスプレイ (HMD) が挙げられる一方、より一般のユースケースも加味すると、まだまだ HMD よりもタブレットやスマートフォンの方が普及している。したがってタブレットやスマートフォンに最適化された触覚提示デバイスの実現は VR の没入体験を手軽に体験する上で非常に有効である。そこで、本研究では、タブレットに脱着可能な提示デバイスを提案する。空間インタフェース装置「SPIDAR」[1]は、4 方向から糸の張力を制御し、触感提示を行っている。また、「SPIDAR-tablet」[2]は、タブレットを操作する際に、指先に 4 つのモータから糸を接続し、モータを駆動させ触感を提示している。しかし、「SPIDAR-tablet」ではタブレット面に対して奥行き方向の 3 次元のインタラクションについては、詳細な提案を行っていない。

本論文では、タブレットに脱着可能な張力型力覚提示デバイス「SPIDAR-Pad」を提案する。本デバイスは複数モータがそれぞれ異なる方向の張力を駆動するこ

とで、ユーザにタブレット奥行き方向を含めた 3 次元的な力覚を提示する。また、提案デバイスを実際に複数人に体験してもらい、得られたコメントから考察を行う。

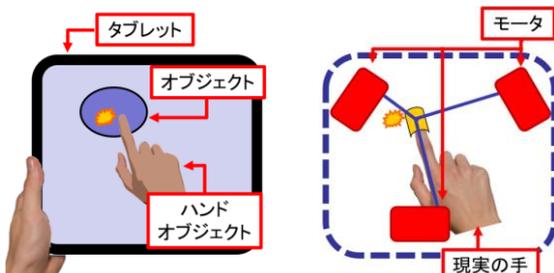
2. 実装

2.1. システム構成

SPIDAR-Pad の構造を図 1 に示す。このデバイスは主に、タブレット、モータ、糸、指サックの 4 つの部品で構成されている。図 1(a)に示すように、タブレットの画面には、仮想空間内に配置されたオブジェクト（以下オブジェクト）や、ユーザの手を模擬したオブジェクト（以下ハンドオブジェクト）が表示されている。図 1(b)はタブレットを透過したイメージ図であり、タブレットの背面に 3 つのモータが配置され、それぞれプーリーを介して糸が接続されており、さらに、それぞれの糸の末端が 1 つのサックに接続されている。ユーザはこのサックに指を挿入し操作する。

タブレットで制御プログラムを実行し、モータの回転数からサックの位置、すなわちユーザの指の位置を推定し、映像中のハンドオブジェクトの位置に反映させる。ハンドオブジェクトの指先がオブジェクトに触れた際に、モータの駆動電流を増大し糸の張力を増大させることで、指先へ反力を与え、触感を提示する。

タブレットには Microsoft Surface Pro 8、モータには



(a) 体験者目線 (b) タブレット透過

図 1 SPIDAR-Pad の構造図

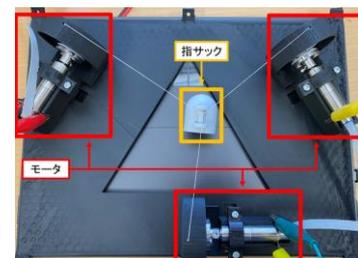


図 2 タブレットに装着した SPIDAR-Pad

Maxon 社のホールセンサ付きモータ，糸には非伸縮性のポリエチレン製の釣り糸を使用し，その他の部品は PLA 樹脂を用いて，3D プリントで作成した。

ハンドオブジェクトと，現実の手との位置運動にあたり，3つのモータの糸の巻き数から指先の位置 (x,y,z) を算出する．モータ n の糸の接続点座標 (x_n, y_n, z_n) を中心とし，接続点座標 (x_n, y_n, z_n) から指先までの糸の長さ r_n を半径とする球 n を表す 3 元連立方程式(1)を (x,y,z) について解くことで現実の手の座標を推定する．

$$(x - x_n)^2 + (y - y_n)^2 + (z - z_n)^2 = r_n^2 \quad (1)$$

ただし， $n = 1, 2, 3$ ， $z \geq 0$

また，推定時にはモータから指先までの距離を正確に取得するためにモータに微小なトルクを与え，糸の弛みの影響を軽減した。

2.2. 触感提示方法

現実の手と連動するハンドオブジェクトを仮想空間に用意する．用意したハンドオブジェクトの指先がオブジェクトに触れた際に，モータの駆動電流を増大することで，指先に反力を与えることで触感を提示する．物体の接触判定範囲内に侵入した際に突然大きな反力を指先に与えると，手に撃力が加わってしまい，強い力で手が弾かれてしまうため，Penalty 法[3]を参考に，オブジェクトへの侵入量が大きいほど，反力が大きくなるようなアルゴリズムを設定した．ただし，Penalty 法において特有の，接触時にオブジェクトとハンドオブジェクトが重畳して表示される現象を回避するため，オブジェクト表面の外側近傍を侵入の起点として設定し，ハンドオブジェクトの指先がオブジェクト表面に近づくほど，反力を増大させることで，オブジェクト表面にハンドオブジェクトがめり込まないように工夫した．発生させる反力の変化はモータに与える電流の強弱によって実現される．提示する反力を変化させるために与える電流 I の計算方法は式(2)に示す．

$$I = I_{MAX} * \frac{d_2 - d_1}{d_2} \quad (2)$$

d_1 はオブジェクトの表面とハンドオブジェクトの指先との距離を表す． d_2 はオブジェクトへの指先の侵入の起点から，オブジェクトの表面までの最短距離を表す． I_{MAX} はオブジェクトとハンドオブジェクトが接触した際にモータに与える最大電流値を表す．

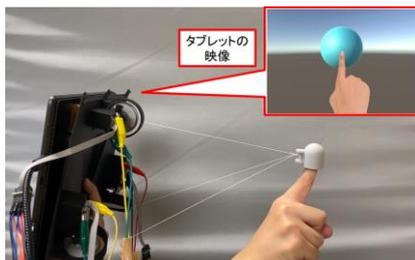


図 3 体験画面

上記のように接触した際に，反力が増大し触感が提示される．ユーザは左手でタブレットを持ち，右手の人差し指でオブジェクトに触る動作を行うことで，本システムを体感する．

3. 体感される触感

開発した SPIDAR-Pad を数人に体験してもらい，コメントを聴取した．協力者は 20~40 代男女 11 名である．協力者には SPIDAR-Pad を用いて直方体，鉛直軸方向に回転を与えた直方体，球体，中央に穴が開いた壁の 4 種類のオブジェクトを自由に触ってもらった．その結果，「物体に接触した際には十分な反力が得られた」「硬い物体に触れている感覚がした」といったコメントが得られた．このことから，オブジェクトとの接触時に指先に十分な反力が提示できていることが示唆される．また，常時指先に与えられる反力については「指先を横方向に動かしたときに反力をより大きく感じる」とのコメントが得られた．これは，タブレット面に水平な方向に指を動かしている際に，徐々に手前方向に指が引っ張られていくためであると考えられる．その他にも「中心から離れるほど触感提示に違和感があった」といったコメントがあり，体感に一定の位置依存性があることも示唆された．以上の回答から，タブレット面に水平なオブジェクトに対しては，タブレットの中心付近で体験した際には十分な触感提示が行われるというが示唆された．一方，オブジェクト表面の水平方向への操作や，タブレットの外縁付近での触感では体感が低下したと思われる．

4. むすび

本研究では，糸の張力によって指先に反力を提示する，タブレットに脱着可能な触感提示デバイス「SPIDAR-Pad」の提案，開発を行った．実際に複数人に SPIDAR-Pad を用いた環境を体験してもらったところ，平面に垂直に触れる分には十分な触感を得られたが，表面をなぞったり，デバイスの中心部から大きくそれると現実的な触感は得られなかった．

今後は，3つのモータを独立して制御することを目指すのに加え，さらに多くの種類の触感提示を目指す．

文 献

- [1] 佐藤誠，平田幸広，河原田弘，"空間インタフェース装置 SPIDAR の提案."，電子情報通信学会論文誌 D，vol.74，no.7，pp887-894，Jul.1991.
- [2] 田村理乃，村山淳，平田幸広，佐藤誠，原田哲也，"タブレット PC のための力覚インタフェース SPIDAR-tablet の張力計算方法の開発とその評価."，ヒューマンインタフェース学会論文誌，vol.13，no.4，pp283-290，Nov.2011.
- [3] 長谷川晶一，"力触覚レンダリング—提示力計算とそのためのモデル."，システム/制御/情報，vol.64，no.4，pp140-144，Apr.2020.