

モバイルディスプレイの動きによる 三次元 VR インタラクション

王麗麗^{†1} 小室孝^{†1}

本論文ではモバイルディスプレイと加速度センサを用いて、仮想物体との多様なインタラクションが行えるモバイル VR システムを提案する。ディスプレイに取り付けた加速度センサからディスプレイの傾きや動きの情報を取得し、仮想物体の運動に反映させる。また、ディスプレイの傾きからユーザの視点位置を推定し、適切な投影表示を行うことで、運動視差による擬似的な三次元表示を実現する。さらに、仮想空間中の水平面の一つがディスプレイ面と一致するように座標系を定めることで、モバイルディスプレイを介して実空間と仮想空間をシームレスにつなぐことが可能となる。このコンセプトの有効性を示すために、モバイルディスプレイをフライパンと見立て、食材を調理しているような仮想体験が得られるアプリケーションを実装した。

Three-dimensional VR Interaction using the Movement of a Mobile Display

LILI WANG^{†1} TAKASHI KOMURO^{†1}

In this paper we propose a VR system for allowing various types of interaction with virtual objects using an accelerometer and a mobile display. The system obtains the orientation and motion information from the accelerometer attached to the display and reflects them to the motion of virtual objects. It can also present pseudo-3D images with motion parallax by estimating the position of the user's viewpoint and by displaying properly projected images. Furthermore, our method allows to connect the real space and the virtual space seamlessly through the mobile display by determining the coordinate system so that one of the horizontal surfaces in the virtual space coincides with the display surface. To show the effectiveness of this concept, we implemented an application to simulate food cooking by regarding the mobile display as a frying-pan.

1. はじめに

VR 技術により、三次元仮想空間への没入や仮想物体とのインタラクションなどの臨場感のある仮想体験が実現されている。しかし、従来の VR は大掛かりな装置が必要であり、普及の妨げになっていた。それに対し、スマートフォンなどのモバイルデバイスを用いることで、簡便な VR システムが実現されると期待される。

Francone ら[1]はモバイルデバイスの内蔵カメラでフェイストラッキングを行い、画面内の仮想物体をユーザ視点位置に合わせて投影表示することで、運動視差による擬似的な三次元表示を実現するシステムを提案した。また、Wolfgang ら[2]は、カメラの代わりに加速度センサを用いて、ディスプレイの傾きを取得し、それに合わせて投影表示することで、自然な三次元表示を実現した。加速度センサを用いることでカメラを用いる場合に比べて、より大きな傾きにも対応できている。

しかし、これらの研究では、仮想物体を動かすことができなかつたり、あるいはタッチパネルを用いて動かしたりしていた。モバイルデバイスの傾きを用いて仮想物体を動かすことができれば、より直感的な操作が実現されると考

えられる。これまでもモバイルデバイスの傾きや動きを用いたインタラクションシステムはあったが[3-6]、運動視差による擬似三次元表示と組み合わせたものはなかった。

また、これまでのモバイル VR システムは、ディスプレイをのぞき窓として使っており、実空間と仮想空間が断絶されていた。そのため、仮想空間にリアリティが感じられず、没入感に乏しいという問題がある。

そこで今回、モバイルディスプレイと加速度センサを用いて、ディスプレイを傾けたり、振り上げたりといった動作を利用して仮想物体を動かすインタラクションシステムの構築を行った。ディスプレイに取り付けた加速度センサからディスプレイの傾きや動きの情報を取得し、仮想物体の運動に反映させるとともに、ディスプレイの傾きからユーザの視点位置を推定し、適切な投影表示を行うことで、運動視差による擬似的な三次元表示を実現した。また、仮想空間中の水平面の一つがディスプレイ面と一致するように座標系を設定することで、実空間と仮想空間がモバイルディスプレイを介してシームレスにつながるようにした。

さらに、提案したシステムを用いて、モバイルディスプレイをフライパンに見立て、その動きに中の食材を連動させることで料理の擬似体験ができる VR アプリケーションを試作した。

^{†1} 埼玉大学
Saitama University

2. モバイルディスプレイの動きによる VR インタラクション

2.1 概要

モバイルディスプレイの後ろに取り付けた加速度センサの情報から、ディスプレイの姿勢（ピッチとロール）が得られる。得られた姿勢からディスプレイに固定したワールド座標系からの相対的なユーザの視点位置を推定する。推定したユーザの視点位置に合わせ、仮想空間をディスプレイに投影表示する。

さらに、画面上の仮想物体にディスプレイの傾き方向の加速度を与え、移動させる。ディスプレイ面に対し垂直方向の加速度が閾値を超えれば、物体を跳ね上げるという操作として認識し、仮想物体を跳ねさせる。

2.2 システム構成

試作したシステムは、モバイルディスプレイ（株式会社アイ・オー・データ機器、CL2-002L3、最大解像度：800×480 画像、表示面積：151.44(H)×90.576(V)mm）、加速度センサ（株式会社ゼットエムピー、3 軸、16[bit]）、PC（CPU：Intel(R) Core(TM) i7-3770 3.40GHz、RAM：4GB、GPU：Intel(R) HD Graphics 4000）からなる。モバイルディスプレイはパララックスバリアによる裸眼立体表示が可能であり、平面表示と切り替えられるようになっている。

図 1 に示すように、加速度センサはディスプレイの裏面に取り付けており、Z 軸がディスプレイに垂直に、X 軸と Y 軸が画面の横方向と縦方向にそれぞれ一致するようになっている。

ケーブルを除いたシステムの総重量は約 600g であり、片手でも持つことができるようになっている。



図 1 システムの構成
Figure 1 System configuration.

2.3 ディスプレイの傾き推定と投影表示

モバイルディスプレイに取り付けた加速度センサから、重力方向を検出し、ディスプレイの姿勢（ピッチとロール）を得る。ユーザの視点位置からディスプレイ中心までの距離と俯角および視線方向に対するディスプレイの水平回転角が一定であると仮定し、ディスプレイに固定したワールド座標系からの相対的な視点位置を計算する。図 2(a)の

ようにワールド座標がユーザに固定されていると、ディスプレイが傾いたとき、ディスプレイの表示面が Z 軸に対して垂直ではなくなり、投影計算が複雑になる。そこで、図 2(b)のように、ワールド座標をディスプレイに固定することで、ディスプレイが傾いたときも、ディスプレイの表示面が Z 軸に対して垂直のままとなり、代わりに視点位置が移動することになる。

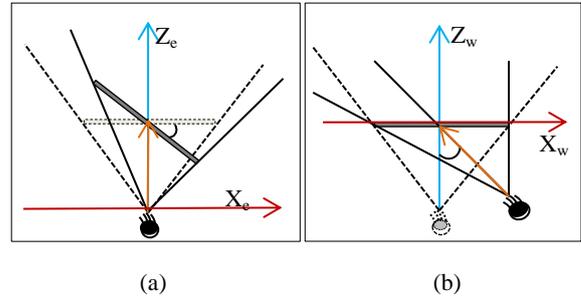


図 2 視点位置に合わせた投影
Figure 2 Viewpoint-dependent projection.

D をユーザ視点とディスプレイ中心の間の距離、ユーザの視点位置からディスプレイ中心を見たときの俯角を θ 、加速度センサから得られたディスプレイ面の Y 軸と X 軸それぞれに対する傾きを α 、 β とする。

このときのワールド座標系における視点位置の座標 (p_x, p_y, p_z) は、

$$p_x = \frac{D \tan \alpha}{\sqrt{1 + (\tan \alpha)^2 + (\tan(\theta + \beta))^2}}$$

$$p_y = \frac{D \tan \beta}{\sqrt{1 + (\tan \alpha)^2 + (\tan(\theta + \beta))^2}}$$

$$p_z = \frac{D}{\sqrt{1 + (\tan \alpha)^2 + (\tan(\theta + \beta))^2}}$$

となる。この視点位置を投影中心とし、ワールド座標上の仮想三次元物体がディスプレイ面に作る投影像を計算し、ディスプレイに表示する。

2.4 仮想物体とのインタラクション

取得したディスプレイの姿勢（ピッチとロール）を元に、仮想物体に加速度を加え、移動させる。仮想物体が障害物にぶつくと、それ以上先には進まなくなる。

ディスプレイを振り上げる動作の検出は、ディスプレイ面に対し垂直方向の加速度が閾値を超えれば、跳ね上げる動作として認識する。図 3 はディスプレイを振り上げる動作を複数回行った時の、加速度センサで得られた三軸の加速度の時系列を示している。ここで、Z 軸がディスプレイ面に対し垂直方向に対応している。ディスプレイを振り上げると、Z 軸方向の加速度に振幅の大きいインパルス状の波形が見られる。設定した閾値（ここでは 1.25G）を超えると、跳ね上げる動作と認識し、仮想物体を跳ね上げさせ

る。

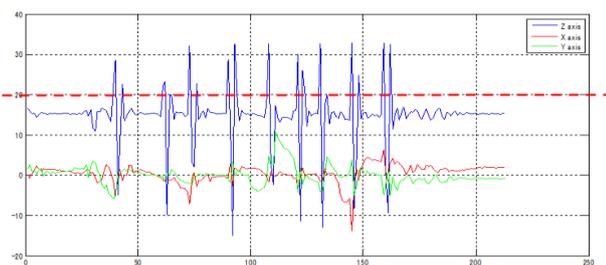


図 3 振り上げ動作の検出
Figure 3 Detection of swinging-up action.

図 4 に仮想物体とのインタラクションの様子を示す。(a) はディスプレイを傾けて仮想物体の球を転がしている様子である。(b) は、ディスプレイを振り上げて球を跳ね上げている様子である。ディスプレイの傾きに対して、適切な投影表示を行われており、運動視差による擬似的な三次元表示が実現されている。加えて、仮想物体がディスプレイの動きと連動しており、直感的なインタラクションが実現されている。

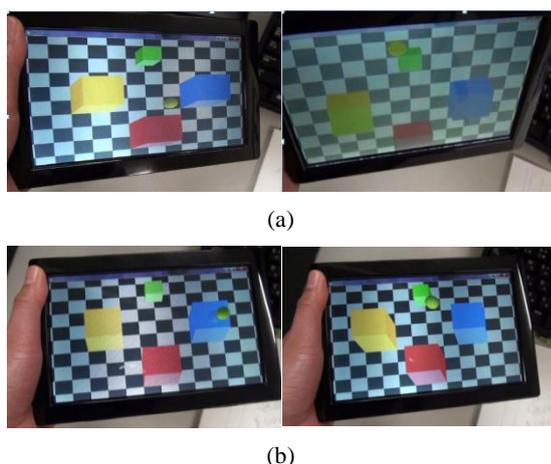


図 4 仮想物体とのインタラクション
Figure 4 Interaction with virtual objects.

3. アプリケーション

これまでのモバイル VR システムは、ディスプレイをのぞき窓として使っており、実空間と仮想空間が断絶されていた。それに対し、仮想空間中の水平面の一つをディスプレイ面と一致させることで、実空間と仮想空間をシームレスにつなぐことができる。

そのようなアプリケーションとして、たとえばフライパンの内側面の一部をモバイルディスプレイの画面にして、その上に食材を CG 表示することで、料理の擬似体験を実現するといったものが考えられる。図 5 は、そのようなアプリケーションの例である。フライパンの動きに中の食材

が連動することで料理をしているような仮想体験が得られる。



図 5 フライパンで料理するアプリケーション例
Figure 5 An application of cooking with a frying-pan.

このほか、卓球のラケットの一部をモバイルディスプレイの画面にして、その上でボールを跳ねさせたりといったアプリケーションも考えられる。

4. 裸眼立体視ディスプレイへの対応

本システムで使用したモバイルディスプレイは、パララックスバリアによる裸眼立体視の機能が備わっている。右目位置を中心とした投影画像と左目位置を中心とした投影画像をそれぞれ右目画像と左目画像として表示することにより、仮想空間の三次元表示が可能となる。しかし、裸眼立体視ディスプレイは立体視可能な視点位置の範囲が限られており、ディスプレイが傾くことで相対的な視点位置がそこから外れてしまうと、正しい立体視ができなくなる。そこで、ディスプレイの傾きから推定した視点位置を用いて動的に映像を切り替えることで、ディスプレイがどのように傾いても正しい立体視が可能になると考えられる。

図 6 は視点が動いたときにパララックスバリアを通して観測されるピクセルの位置がずれる様子を示している。パララックスバリアとディスプレイスクリーンの距離を a 、ピクセル位置のずれ量を Δx とすると、 Δx は視点位置 (p_x, p_z) を用いて以下のように書ける。

$$\Delta x = a \frac{p_x}{p_z} = a \tan \alpha$$

ディスプレイの画素間隔を d とすると、 Δx が d だけずれたときに、左右が反転する。そこで、 Δx が d だけずれる度に左右を切り替えて表示することで、正しい立体視が実現されることになる。

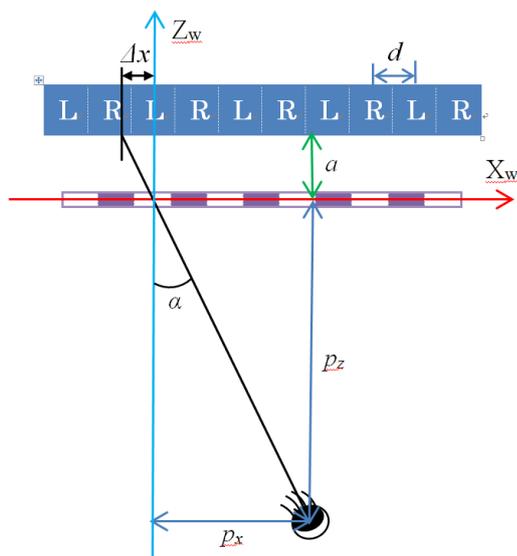


図 6 視点移動による対応ピクセル位置のずれ
 Figure 6 Shift of corresponding pixel position due to viewpoint movement.

5. おわりに

モバイルディスプレイと加速度センサを用いることで、ディスプレイの動きを用いた仮想物体とのインタラクションを実現するシステムを試作した。ディスプレイに取り付けた加速度センサからディスプレイの傾きや動きの情報を取得し、仮想物体の運動に反映させることで、仮想物体の移動や跳躍などの多様なインタラクションを実現した。また、ディスプレイの傾きから推定したユーザの視点位置に合わせて、仮想空間をディスプレイに適切に投影表示を行うことで、運動視差による擬似的な三次元表示が実現された。さらに、仮想空間中の水平面の一つをディスプレイ面と一致させることで、実空間と仮想空間をシームレスにつなぐことが可能となった。モバイルディスプレイをフライパンと見立て、食材を調理しているような仮想体験が得られるアプリケーションを実装した。

今後は立体視の機能を実装するとともに、システムの有効性の評価を行う予定である。

参考文献

- 1) Francone, J. and Nigay, L.: Using the User's Point of View for Interaction on Mobile Devices, Proc. 23rd French Speaking Conference on Human-Computer Interaction (IHM'11), Article 4 (2011).
- 2) Hurst, W and Helder, M.: Mobile 3D Graphics and Virtual Reality Interaction, Proc. Of the 8th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology (ACE'11), Article 28 (2011).
- 3) Rekimoto, J.: Tilting Operations for Small Screen Interfaces, Proc. the 9th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST '96), pp. 167-168 (1996).
- 4) Gilbertson, P. et al.: Using "tilt" as an Interface to Control "no-button" 3-D Mobile Games, Computers in Entertainment (CIE), Vol.6, No.3, Article No. 38 (2008).

5) Baillie, L. et al.: Rolling, rotating and imagining in a virtual mobile world, Proc. the 7th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services (MobileHCI'05), pp.283-286 (2005).

6) Yatani, K. et al.: Toss-It: Intuitive Information Transfer Techniques, Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI '05), pp. 1881-1884