

# タッチパネルを利用したARにおける剛体運動表現の一検討

## An Expression Method of the Rigid Motion for AR Vision with Touch Screen Interface

阿久澤 慧†  
Satoshi Akuzawa

西村 広光†  
Hiromitsu Nishimura

### 1. まえがき

ARとはAugmented Realityの略称であり、人間が環境から受ける視覚情報に、コンピュータで作成した情報を重ね合わせることによって、現実世界の情報を強化する技術である[1]。ARはデジタル情報を現実の世界に融合させることにより、新しいユーザインタフェースを構築し、作業支援や情報提示に活用できる。

本研究は、視覚のAR表現に、触覚入力デバイスを組み合わせる技術について検討した。ARによる触覚再現としては、慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科(KMD) 館研究室が開発した、ペン型デバイスを使用するPen de Touchや、デバイスを指先に装着することで触覚を得るGravityGrabberが既存技術として報告されている。これらは、ペン型や指先に取り付ける振動デバイスによって仮想的に触覚フィードバックを与える技術である[2]。本研究では、既存研究のような触覚フィードバックを実現するのではなく、触覚によって表示物体への干渉エネルギーを入力するインタフェースの実現を試みた。具体的には、タッチパネルモニタ上に表示されたオブジェクトに対し、画面に触れる操作を実装し、指の動きによってオブジェクトに物理運動を与えるシステムを構築した。現在までに、単一物体における剛体運動の基本的な動きと、固定障害物との接触運動を実装し、操作方法の評価を行った。

なお、本研究ではマーカ認識によるARを取り扱っており、開発環境としてARToolKit[3]を使用している。

### 2. 触覚入力デバイスを利用したAR表現

本研究では、ARと融合させる触覚入力デバイスとしてタッチパネルモニタを採用した。画面上に表示されたARオブジェクトに対し、画面を通して触れる操作を実装することで触覚による干渉エネルギー入力を行っている。表示されたARオブジェクトに関しては、オブジェクト領域の限定を行っており、操作時にはタッチパネルモニタ上からこの領域内に触れることで、ARオブジェクトに干渉することが可能である。触れかたによってARオブジェクトに与える運動に力の大きさなどの差異を与え、視覚的な触覚再現を行っている。

### 3. Webカメラのキャリブレーション

本システムではカメラとマーカの成す角度 $\theta$ によってARオブジェクトの領域限定を行っており、基本的に角度 $\theta$ はカメラ設置条件を考慮して $30^\circ$ と設定した。よって、Webカメラを任意で決定した角度に設置するためのキャリブレーションが必要不可欠となる。そこで短辺と長辺

が1:2の長方形をWebカメラのキャリブレーションに利用することとした。この長方形を置いた平面と、Webカメラの成す角度 $\theta$ が $30^\circ$ のとき、撮像面において、長方形の底辺と上辺を垂直に結ぶ線は長方形の底辺と同じ長さで見ることができる。この性質を利用し、撮像面に正方形の枠を用意することでキャリブレーションを行っている。具体的には、撮像面上に用意された正方形の枠の底辺に長方形の底辺を合わせ、枠の上辺に長方形の上辺を合わせることで角度 $\theta$ を $30^\circ$ に校正している。

### 4. システム概要

本研究では触覚入力デバイスとしてタッチパネルモニタを採用し、撮像面上で操作することでARオブジェクトに運動を与えている。このとき、タッチパネル平面の横軸をX軸とし、縦軸をY軸としている。またマーカ座標系として、マーカの法線方向をZ軸とし、マーカ平面の縦方向と横方向をそれぞれX軸、Y軸とする。

本システムの操作方法及びそれによりARオブジェクトに与えられる剛体運動について、以下に示す。

#### 4.1. タッチパネルを介した干渉方法

本システムではARオブジェクトに対する触覚入力操作としてドラッグ操作を採用している。この操作の有効範囲は、表示されたARオブジェクトのオブジェクト領域内であり、ドラッグ操作の開始座標 $(x_0, y_0)$ と終了座標 $(x, y)$ のY軸に注目した差 $y-y_0$ を求め、その値の正負によってY軸上の運動方向決定を行っている。このとき、 $y-y_0$ の絶対値によってオブジェクトの初速度を決定しており、この値の大きさに比例して初速度が変化する仕組みである。また、X軸に注目した差 $x-x_0$ を求めることでX軸上の運動方向も決定される。この操作について図1に示す。

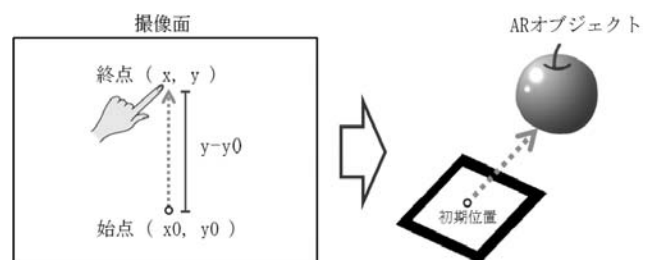


図1 タッチパネル上での始点・終点のY軸距離

#### 4.2. オブジェクト領域の範囲限定

本研究ではカメラとマーカの成す角度 $\theta$ によってARオブジェクトの領域限定を行っている。実際にシステム上で表示されているARオブジェクトはワイヤーフレームで描かれた一辺が40mmの立方体である。このオブジェクト領域内で操作を行うときのみオブジェクトに干渉エネルギー

†神奈川工科大学 Kanagawa Institute of Technology

ギーが入力されるようにするためには、撮像面上でマーカ座標系の Z 軸を考慮する必要がある、二次元平面である撮像面では Y 軸で処理されることとなる。そこで、撮像面上において表示されているオブジェクトを二次元的に観測した際の底辺と上辺を利用することとした。まずマーカと接地している面の領域を限定し、Z 軸の値を考慮するため三角関数を用いて不足している領域の限定を行っている。Web カメラとマーカが成す角度  $\theta$  が  $30^\circ$  のとき、対象となる立方体 AR オブジェクトの一边が  $40\text{mm}$  なので、 $40\sqrt{3}$  で求めることが可能である。この値を予め領域限定をしていた範囲に付加することで、角度  $\theta$  が  $30^\circ$  のときにおけるオブジェクト領域を決定している。このオブジェクト領域限定について図 2 に示す。

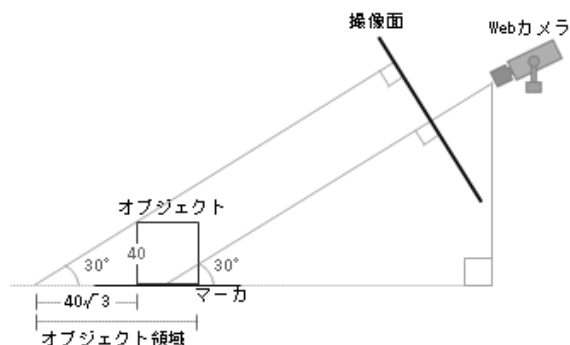


図 2 オブジェクト領域の範囲限定

#### 4.3. AR オブジェクトに与える剛体運動表現

本研究では表示した AR オブジェクトによる剛体運動表現を検討している。そこで本システムでは、基本的な剛体運動として以下の条件の等加速度直線運動を実装した。摩擦のある水平面上で、質量  $500\text{g}$  の物体を  $19.6\text{m/s}$  の初速度で滑らせる。物体と面との間の動摩擦係数が  $0.40$  のとき、この物体は何秒後に止まるか。また、止まるまでに何  $\text{m}$  移動するかを考える。初速度  $v_0=19.6\text{m/s}$ 、動摩擦係数  $\mu'=0.40$  とした時、何秒後に停止するかは  $v=1.96+3.92t$  で求められ、停止するまでの移動距離は  $y=19.6t+1/2at^2$  で求められる。それにより、この物体は運動開始から 5 秒後に  $49\text{m}$  進んで停止することが求められた。本システムでは、初速度  $19.6$  に  $y-y_0$  をかけ合わせることで操作の仕方による運動速度の強弱を再現している。また、位置固定の障害物オブジェクトを配置し、運動中のオブジェクトがこの障害物のオブジェクト領域と接触することで、跳ね返りといった運動を再現した。

#### 5. まとめ

本研究では、視覚による AR 表現に対し、触覚入力デバイスを組み合わせる技術について検討し、それによる触覚現実感の実現を目的としている。既存の触覚再現として報告されている、Pen de Touch や GravityGrabber のような振動デバイスによる仮想的な触覚フィードバックではなく視覚的な触覚再現を目指すため、触覚入力デバイスとしてタッチパネルモニタを採用し、これによる表示物体への干渉エネルギーを入力するインタフェースを開発した。

マーカの撮影環境として、マーカと Web カメラの成す角度  $\theta$  を  $30^\circ$  に決定し、撮像面上に正方形の枠を用意することで Web カメラのキャリブレーションを行っており、表示した AR オブジェクト全てにオブジェクト領域の限定を施している。干渉エネルギーの入力方法としてはドラッグ操作を採用し、限定されたオブジェクト領域のみこの操作は有効である。有効範囲内でのドラッグ距離及びその方向によって物体の運動速度や運動方向の決定を行っている。この操作によって AR オブジェクトに与える単一物体における剛体運動の基本的な運動として、等加速度直線運動と固定障害物との接触運動を実装し、操作方法の評価を行った。

#### 6. 考察

本システムが現在実装している基本的な運動は等加速度直線運動である。これはマーカ座標系における X 軸と Y 軸のみに関連した運動である。今後は Z 軸に関する運動を実装することで、より多くの剛体運動表現を可能にする計画である。具体的には、ソーサとその上に乗ったティーカップのような重なった二つの AR オブジェクトを表示し、片方または両方に干渉することで起こる運動表現を実装し、オブジェクト同士に相互関係を与える計画である。

現在のキャリブレーションにおいて、角度  $\theta$  を  $30^\circ$  とし、撮像面に投影された正方形の枠を用いて Web カメラを任意の場所に設置している。今後は様々な角度や距離に対応できるように、基準となる枠の形や大きさを多種類実装する計画である。

現在干渉エネルギーの入力操作において、本システムではドラッグ操作を採用し、その操作距離や方向によって運動に差異を生じさせている。今後はタッチパネルモニタ上での入力時間などを考慮し、物体に与える運動の差別化を計画している。

#### 謝辞

本研究を進めるにあたり、実験ならびに実験サンプル作製に御協力頂いた皆様、御指導、助言を頂いた神奈川工科大学情報メディア学科西村研究室の学生諸氏に深く感謝致します。

#### 参考文献

- [1] 橋本直(2008)『ARToolKit 拡張現実感プログラミング入門』アスキー・メディアワークス 240pp.
- [2] 技術者を応援する情報サイト Tech-On!, [2011 年 6 月 30 日参照]  
<http://techon.nikkeibp.co.jp/article/NEWS/20090928/175717/>
- [3] 加藤博一、“拡張現実感システム構築ツール ARToolKit の開発”電子情報通信学会技術研究報告. PRMU, パターン認識・メディア理解 101(652) (2002-02-14)