I-027

インタラクティブな仮想水面波を可視化する AR コンテンツ
AR content with interactive motion on the virtual water surface

漆原 航平* 高井 昌彰† 飯田 勝吉‡
Kohei Urushihara Yoshiaki Takai Katsuyoshi Iida

1. はじめに

実世界の映像に拡張現実(AR)で表示された仮想物体を重畳させ，実世界の背景と幾何学的，時間的，光学的整合性を保つことで仮想物体の実在感を得ることができる．また実世界と双方向のインタラクションを行うことで仮想物体の実在感を更に向上させるシステムも開発されている[1].

しかし，これまでの多くの AR コンテンツでは，表示される仮想物体は「剛体」が主であり，より複雑な物理的挙動と光学的特性をもつ「液体」を対象に加えることによって，新たなインタラクションを可能にする AR コンテンツの新展開が期待できる．そこで本研究では実世界に仮想水面を重畳し，ユーザーが仮想水面に触れることで多様な波動や波紋を生じさせる AR システムを開発する．

2. システムの概要

一般にユーザーの手指をインタフェースとしたインタラクションは，対象との接触判定が難しいため，最初のアプローチとして，形状がシンプルで認識が容易な道具を想定し，これをインタフェースとしてユーザーが操作する[2].

図 1 に本システムの概要を示す．インタフェースとして棒の先端に AR マーカーを取り付けたパドルを用いる．また，仮想水面を表示するため水面用マーカーを付したプール（箱型の容器）を設置し，これら 2 つの AR マーカーをカメラで認識する．

カメラ越しに見えるパドルとプールの画像には仮想水面が重畳され，ユーザーの操作によってパドルが水面に接触して移動したり，水中をパドルで掻くことにより，波や水しぶきが描画される．本システムはゲームエンジンである Unity をプラットフォームとし，AR 開発ライブラリ Vuforia でマーカーの認識と仮想水面の描画を実現している．

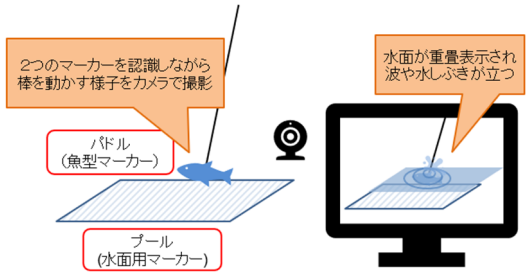

図 1　システム概要

*北海道大学大学院情報科学院　Graduate school of Info. Sci. Technology, Hokkaido University
† 北海道大学情報基盤センター　Information Initiative Center, Hokkaido University
‡ 北海道大学情報基盤センター　Information Initiative Center, Hokkaido University

3. 仮想水面波の可視化

3.1 仮想水面の表示

仮想水面は Unity 内の平面オブジェクトとして扱い，平面のテクスチャや法線マップを用いて水面における透過・屈折などの光学的特徴を表現する．

まず水面用マーカーを認識して背景画像に仮想水面を表示する領域を決定する(a)．次にマーカーと仮想水面との位置関係より仮想水面のテクスチャに背景が仮想水面と重なる領域をマッピングし(b)，最後に背景画像に仮想水面を重畳表示する(c)．背景を透過する半透明の平面オブジェクトではなく，指定の背景領域を投影したテクスチャを重畳表示する．

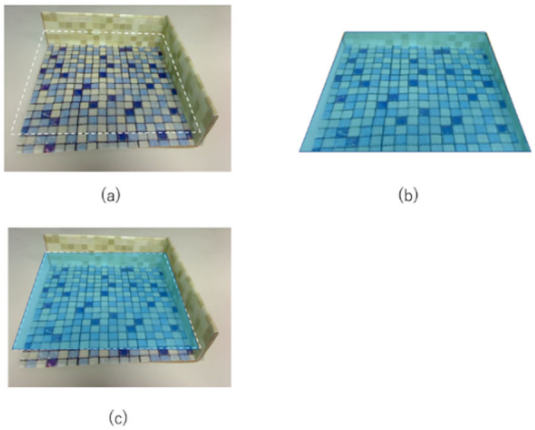

図 2　仮想水面の表示

3.2 仮想水面への干渉

実世界のパドルから仮想水面への干渉を実現するために，パドルと仮想水面の接触点を Unity の座標系で取得する必要がある．

仮想水面に物理的に接触するには同じ空間に存在するゲームオブジェクトでなければならないため，Unity 空間にサイズ・形状ともに実世界のパドル（以後，パドルと呼ぶ）と同一の仮想パドルを作成し，これを仮想水面に接触させる．2 つのマーカーを認識してパドルと仮想水面の位置関係を取得し，Unity 空間内で水面を基準にパドルと同じ位置に仮想パドルを設置することで，パドルと仮想水面の位置関係を Unity 空間内で再現する．これにより，パドルが動けばシステム内の仮想パドルも同じように動き，その過程で仮想パドルが仮想水面に接触すれば Unity のメソッドによって接触点の座標を得ることができる．

3.3 仮想水面のハイトマップ

波を表現するために平面オブジェクトを変形させ起伏をつける．仮想水面を構成するポリゴンの頂点座標を鉛直方向に局所的に変化させることで任意の起伏を形成できる．

Copyright © 2020 by
The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers and
Information Processing Society of Japan All rights reserved.

仮想水面の標高情報は仮想水面のテクスチャと同一サイズのテクスチャにバッファとして保存し，これをハイトマップと呼ぶ．

図 3 はある瞬間の波形おける標高情報が保存されているバッファを示したものである．ユーザーが(a)の仮想水面を見ている時，ハイトマップは(b)のように色情報としてピクセル単位で保存される．テクスチャのRGB値のうち，R値を用いて標高を表現している．

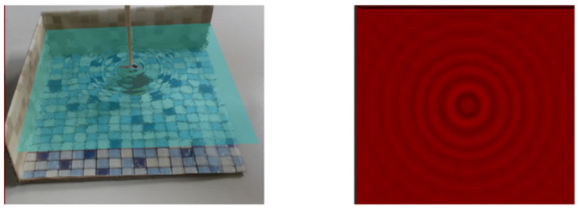

図 3　標高情報のハイトマップによる管理

3.4 波動のシミュレーション

仮想水面における波の伝搬を実時間でリアルに表現するため，波動方程式に基づく簡易的なシミュレーションを行う．つまりタイムステップごとにハイトマップを更新し，あるステップのハイトマップから次ステップのハイトマップを生成することで，仮想水面上の波の伝搬を実現する．

更新に用いられるアルゴリズムは水面の波動方程式[3]に基づいている．すなわちハイトマップの横軸を x，縦軸を y，時間を t，標高値を $z(x,y,t)$とすると，ある点の次の時刻の標高値は，その点と近傍の標高値から次式に従って求められる．

$$z(x,y,t+1) = 2z(x,y,t) - z(x,y,t-1) + s^2\{z(x-\Delta x,y,t) + z(x+\Delta x,y,t) + z(x,y-\Delta y,t) + z(x,y+\Delta y,t) - 4z(x,y,t)\}$$

s: 伝搬速度
$\Delta x, \Delta y$: 差分距離

タイムステップごとにハイトマップのピクセルから標高値を参照し，差分距離だけ離れたピクセルの標高値と合わせることで，次のタイムステップにおけるハイトマップを生成する．また有限の広さをもつ仮想水面の境界条件を設定することで，プール境界での波の反射も表現できる．

3.5 パドルの接触による波源形成

実世界でパドルが仮想水面に接触すると，Unity 空間において仮想パドルが全く同じ位置で接触する．接触した座標からハイトマップにおける波源の中心座標を決定する．

次に，パドル接触で生じた波源中心座標から見た円形近傍領域の標高値を周期的に変化させる．初期波形を正弦波と仮定した場合，波源領域の標高値は sin 関数に従って変化する．波動シミュレーションによってタイムステップごとに標高が変化するに応じて，波源の周りへ波紋が広がってゆく．

3.6 オクルージョン処理

一般に AR で仮想物体を重畳表示する際，実世界の画像の手前に仮想物体が表示される．そのため仮想物体と実世界との前後関係に不整合を生じる場合がある．背景の一部が仮想物体の手前に見えるように仮想物体の一部分を切り取って描画するオクルージョン処理でこの問題を解消することができる．

本システムでは 2 つの AR マーカーによってパドルと仮想水面との位置関係を取得できているので，パドルの仮想水面より外側に存在する領域（棒部分及び水面より上のパドル部分）では仮想水面を描画せず，パドルの該当領域が仮想水面より手前に見えるように仮想水面のオクルージョン処理を行う．

4. 動作結果

図 4 にユーザーが操作するパドルが仮想水面に接触した際に波紋が生じる様子を示す．パドルが仮想水面に触れた位置を正確に取得し波を起こし，水中にある部分は歪んで見えるように水の光学的特性を表現できている．また仮想水面より外側に位置するパドル領域は仮想水面より手前に見えるようにオクルージョン処理が施されている．

映像は一般的な Windows デスクトップ PC 環境において 30fps で描画され，多様なパドル操作とそれに伴う波動形成・描画処理の遅延は，ユーザーの主観評価においてほとんど感じられない程度であり，液体を扱う AR コンテンツとして十分な実時間性を達成している．

図 4　パドルの動きで波紋を生じる仮想水面
（パドルの魚型マーカー画像：コイキング©任天堂）

5. まとめ

拡張現実感で液体を表示し，物理的かつ光学的特徴を再現してユーザーとの実時間インタラクションを可能にする AR コンテンツを開発した．よりリアリティある液体の振る舞いの表現，例えば水しぶきの発生や波の破砕などの表現は，液体のパーティクルモデルの検討も含め，今後の課題である．

参考文献

[1] 森友己, 飯田勝吉, 高井昌彰, ”実世界に干渉する AR キャラクタとのインタラクションシステム”, 第 18 回情報科学技術フォーラム FIT2019, I-002, Vol.3 (2019)
[2] 加藤博一, Mark Billinghurst, Ivan Poupyrev, 鉄谷信二, 橘啓八郎, “拡張現実感技術を用いたタンジブルインターフェース”, 芸術科学会論文誌, Vol.1, No.2, pp.97-104 (2002)
[3] 酒井幸一, “WebGL による「流れ」と「波」のシミュレーション”, 工学社 (2014)

Copyright © 2020 by
The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers and
Information Processing Society of Japan All rights reserved.