

立位体験型海女仮想体験システムにおける アバタ水中姿勢推測と適用

東山 聖生^{†1} 細川 靖^{†1} 佐藤 健^{†1} 土井 章男^{†2} 高田 豊雄^{†2}

我々は海女の潜水文化の継承を目的とした海女仮想体験システム「海女 via-WHB」を開発した。「海女 via-WHB」はウェアラブルセンサを用いて体験者の腕動作をトラッキングし、仮想空間内アバタに適用することで、立位の状態で腕動作のみで海女の体験ができるシステムである。しかし、トラッキングしていない腕以外の部位に関しては対応するモーションが存在せず、マルチプレイの際に相手アバタの見た目の不自然さが課題となっていた。

そこで、本研究ではアバタの水中での仰俯角と移動速度に基づいた自然な水中姿勢の推測と適用を行う「海女 via-WHC」の試作を行った。それによって水中姿勢の不自然さが改善できた。

Inference and Application of the Avatar's Underwater Posture for Standing Type Female Diver Virtual Experience System

SHOI HIGASHIYAMA^{†1} YASUSHI HOSOKAWA^{†1} KEN SATO^{†1}
AKIO DOI^{†2} TOYOO TAKATA^{†2}

1. はじめに

3DCG 技術の発展に伴い、現在では現実感を追求した CG 作品が多く生み出されている。しかし、現実感を追求する場合には、純粋な 3D モデルの精巧さだけでなく、それを動かすアニメーションの自然な動きも重要となる。近年では自然なアニメーションの生成に関する研究が盛んに行われており、先行研究として、武内らによる演奏のテンポやパートの分析に基づいた吹奏アニメーションにおける姿勢制御に関する研究[1]や、朝比奈らによる歌詞の言語情報に基づいたダンスモーションの生成に関する研究[2]などが挙げられる。

現在、三陸地域において小中学生が安全に水産業を学ぶ機会は少なく、岩手県久慈市小袖海岸で今も活躍する北限の海女では後継者不足などの問題が深刻化している。そのため、我々は海女の潜水文化の継承を目的とした海女仮想体験システム「海女 via-WHB」を試作した[3]。「海女 via-WHB」ではウェアラブルセンサを用いて体験者の腕動作をトラッキングし、仮想空間内アバタに適用することで、立位の状態で腕動作のみで海女の体験ができるシステムである。しかし、トラッキングしていない腕以外の部位に関しては対応するモーションが存在せず、マルチプレイの際に相手アバタの見た目の不自然さが課題となっていた。

そこで、本研究では、アバタの水中での仰俯角と移動速度に基づいて各部位の傾きを推測することで自然な水中姿勢の適用を行う「海女 via-WHC」の試作を行う。

2. システム構成

「海女 via-WHC」のシステム構成を図 1 に示す。

ヘッドマウントディスプレイ（以下、HMD と略す）には仮想空間内の海の映像の表示を行い、HMD の傾きに合わせて仮想空間内での視点を変更する。

手の甲と肘に付けたウェアラブルセンサ「Colibri」は体験者の腕動作をトラッキングし、仮想空間内アバタに反映することで仮想空間内で泳ぐことができる。

手掌に装着したデータグローブは手の握りを検出し、海産物の取得の際に入力として用いる。

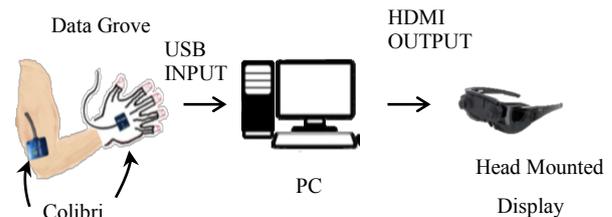


図 1 システム構成

Figure 1 System configuration

3. 提案手法

3.1 海女モデル

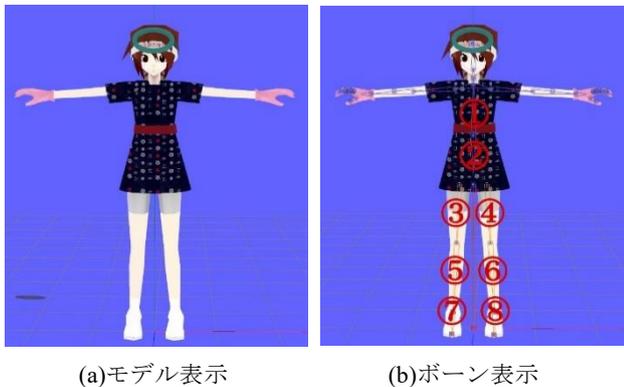
本研究で使用する海女モデルを図 2 に示す。図 2 に示した各ボーンの名称をそれぞれ、

- ①上半身ボーン
- ②下半身ボーン
- ③右脚ボーン

^{†1} 八戸工業高等専門学校
National Institute of Technology, Hachinohe College
^{†2} 岩手県立大学
Iwate Prefectural University

- ④左脚ボーン
- ⑤右膝ボーン
- ⑥左膝ボーン
- ⑦右足首ボーン
- ⑧左足首ボーン

とし、これらの各ボーンの傾きを推測することで、全体としての水中姿勢の推測と適用を行う。



(a)モデル表示 (b)ボーン表示

図 2 海女モデル

Figure 2 Female diver model

3.2 基本姿勢の定義

水中では上下左右の任意の方向に泳ぐことができ、仰俯角によって姿勢が変化する。また、速度によっても姿勢が変化する。したがって、水中姿勢を決定する要因としては、アバタの仰俯角と速度の2つがあげられ、仰俯角と速度のそれぞれに基づいて姿勢の推測をする必要がある。

仰俯角に基づく推測の場合は、鉛直上向き、水平方向、鉛直下向きの3方向の基本姿勢を定義し、これらの姿勢をベースとして、中割りを用いて全方向の姿勢を推測する。水中では各ボーンの傾きが仰俯角によって急激に変化するようなことはないため、基本姿勢は上記の3方向のみで十分であるとした。また、脚以下のボーンについては、簡易的にパタ足のモーションを割り当てるようにする。パタ足のモーションはピッチ軸についての \sin 関数による周期運動により実現する。この時の振幅を仰俯角によって変化させるようにする。

速度 v に基づく推測の場合は、姿勢の変化が最大となるような速度閾値 v_{pm} を設定し、仰俯角に基づく基本姿勢のそれぞれについて、さらに $v=0$ の場合と $v \geq v_{pm}$ の場合で2つの姿勢を定義して中割りを行う。

本研究では基本姿勢を図3のように定義する。図より、上半身と下半身についても傾きはピッチ軸のみで表せると言える。図3における上半身ボーン、下半身ボーンのピッチ軸の傾きを表1、脚以下のボーンのパタ足の振幅を表2、各ボーンの数値閾値 v_{pm} を表3に示す。



図 3 基本姿勢

Figure 3 Basic posture

表 1 基本姿勢における上半身、下半身ボーンの角度

Table 1 Bone's basic angle

	上半身[°]	下半身[°]
鉛直上向き($v=0$)	-90	90
鉛直上向き($v \geq v_{pm}$)	-90	90
水平方向($v=0$)	0	0
水平方向($v \geq v_{pm}$)	-45	90
鉛直下向き($v=0$)	-90	90
鉛直下向き($v \geq v_{pm}$)	-90	90

表 2 基本姿勢における脚以下ボーンのパタ足の振幅

Table 2 Basic amplitude of kick

	脚[°]	ひざ[°]	足首[°]
鉛直上向き(v=0)	0	0	0
鉛直上向き(v ≥ vpm)	22.5	11.25	5
水平方向(v=0)	11.25	5.63	2.5
水平方向(v ≥ vpm)	22.5	11.25	5
鉛直下向き(v=0)	0	0	0
鉛直下向き(v ≥ vpm)	22.5	11.25	5

表 3 各ボーンの色速度閾値 vpm

Table 3 Bone's vpm

	vpm[m/s]
上半身	5
下半身	5
脚	10
ひざ	10
足首	10

3.3 速度補正值 vc

水中姿勢は速度に完全に追従するわけではない。もしも完全に追従させてしまうと、速度が急激に変化した場合に、ボーンの色傾きも急激に変化し、水の抵抗を無視したような挙動となり、見た目が不自然になってしまう。そこで本研究では、ボーン毎に速度補正值 vc を導入し、変化量(加速度)に上限を設定して、速度 v になだらかに追従して変化するようにする。加速時の上限を T+、減速時の上限を T- とすると、vc は式 (1) により更新される。

$$vc^{t+1} = vc^t + \min(\max(v - vc^t, T-), T+) \quad (1)$$

図 4 に速度 v に対する速度補正值 vc の変化の例を示す。速度 v が急激に変化しても速度補正值 vc がなだらかに変化していることがわかる。

速度に関して姿勢の推測をする際には、実速度 v ではなく、速度補正值 vc を用いるようにする。

本研究では、各ボーンについての速度変化上限 T+, T- を表 4 のように設定する。

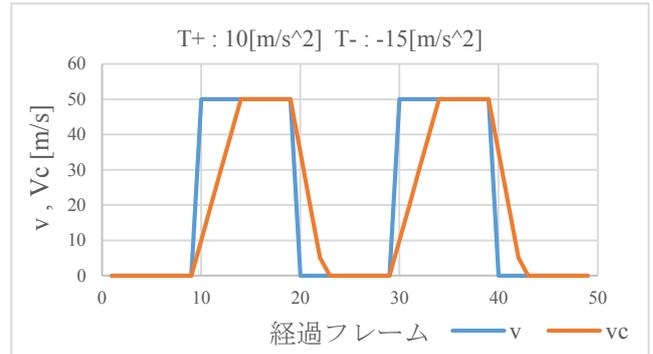


図 4 速度補正值 vc の変化例

Figure 4 Example of vc's change

表 4 各ボーンにおける速度変化上限 T+, T-

Table 4 Bone's T+ and T-

	T+ [m/s ²]	T- [m/s ²]
上半身	0.5	-0.1
下半身	0.5	-0.1
脚	0.5	-0.5
ひざ	0.5	-0.5
足首	0.5	-0.5

3.4 水中姿勢の推測

鉛直上向き、水平方向、鉛直下向きの 3 方向のそれぞれについて速度に基づいて中割りした角度を求め、さらにそれらの角度を仰俯角に基づいて中割りしたものを最終的なボーンの色角度とする。

速度に基づく中割りにより得られる角度 θ_v について、上半身ボーンと下半身ボーンは式 (2) から求められる。

$$\theta_v = \theta_{v=0} + (\theta_{v \geq vpm} - \theta_{v=0}) \min\left(\frac{vc}{vpm}, 1\right) \quad (2)$$

また、脚以下のボーンは、パタ足の周期を f [Hz]、フレームレートを FPS、経過フレームを t とすると、式 (3) から求められる。

$$\theta_u = \left\{ A_{v=0} + (A_{v \geq vpm} - A_{v=0}) \min\left(\frac{vc}{vpm}, 1\right) \right\} \sin\left(2\pi \frac{f}{FPS} t\right) \quad (3)$$

本研究ではフレームレートを 30fps、パタ足周期を f = 1[Hz] に設定する。

仰俯角に基づく中割りにより得られる最終的な角度 θ は、鉛直上向き、水平方向、鉛直下向きの 3 方向のそれぞれについて速度に基づく中割りによって求められた角度 θ_u ,

θ_h, θ_d を用い、仰俯角を θ_n とすると、式 (4) から求められる。

$$\theta = \theta_u I_u(\sin(\theta_n)) + \theta_h I_h(\sin(\theta_n)) + \theta_d I_d(\sin(\theta_n)) \quad (4)$$

ここで、 I_u, I_h, I_d はそれぞれ

$$I_u(x) = \max(x, 0)$$

$$I_h(x) = 1 - |x|$$

$$I_d = \max(-x, 0)$$

という関数で、それぞれ鉛直上向き、水平方向、鉛直下向きの3方向の中割りを計算する。 I_u, I_h, I_d のグラフを図5に示す。

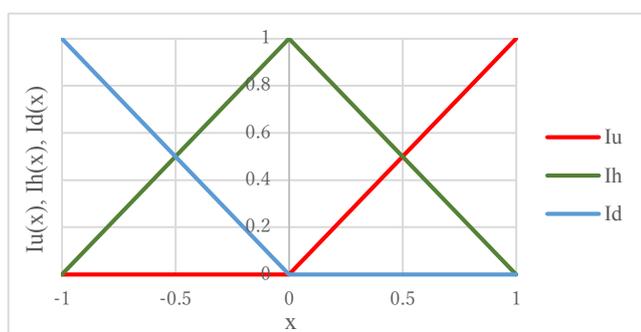
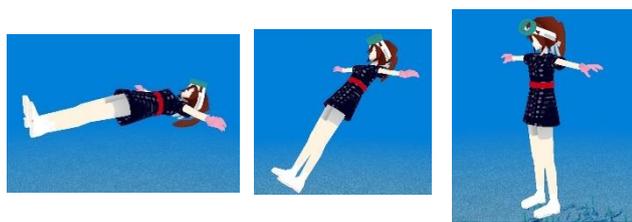


図 5 中割り関数 $I_u(x), I_h(x), I_d(x)$

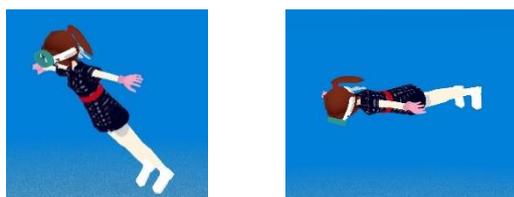
Figure 5 In-between function $I_u(x), I_h(x), I_d(x)$

4. 結果

速度と仰俯角を複数の段階に分けて変化させた時の、提案手法適用前後でのアバタの水中姿勢を図6, 図7に示す。



(a)仰俯角 90 [°] (b)仰俯角 40 [°] (c)仰俯角 0 [°]



(d)仰俯角 -40 [°] (e)仰俯角 -90 [°]

図 6 提案手法適用前のアバタの水中姿勢

Figure 6 Avatar's postures without the proposal method



(a)仰俯角 90 [°] (左から $v = 0$ [m/s], 2.5 [m/s], 10.0 [m/s])



(b)仰俯角 40 [°] (左から $v = 0$ [m/s], 2.5 [m/s], 10.0 [m/s])



(c)仰俯角 0 [°] (左から $v = 0$ [m/s], 2.5 [m/s], 10.0 [m/s])



(d)仰俯角 -40 [°] (左から $v = 0$ [m/s], 2.5 [m/s], 10.0 [m/s])



(e)仰俯角 -90 [°] (左から $v = 0$ [m/s], 2.5 [m/s], 10.0 [m/s])

図 7 提案手法適用後のアバタの水中姿勢

Figure 7 Avatar's posture with the proposal method

5. 考察

提案手法による水中姿勢の推測と適用により、アバタの水中姿勢の不自然さが大幅に改善された。しかし、現状ではあくまで主観的な評価でしかないので、実際にはユーザテストによる見た目の自然さの評価を行い、基本姿勢や各パラメータの改善を図っていく必要がある。また、姿勢をより現実の海女に近づけるために、実際の海女の水中での姿勢や動作をモーションキャプチャによってデータ化し、それを基に姿勢を推測する必要がある。

6. まとめと展望

アバタの仰俯角と速度に基づいた水中姿勢の推測と適用により, アバタの水中姿勢の不自然さを大幅に改善できた. 今後はユーザテストによる基本姿勢や各パラメータの改善を行うとともに, モーションキャプチャによる実際の海女の姿勢や動作の適用を図っていく予定である.

謝辞

本研究を進めるにあたり, 青森原燃サイエンスフェスティバル関係者の皆様, 久慈市漁業協同組合小袖漁業生産部の皆様, モーションキャプチャのための動画撮影やシステム評価にご協力いただいた小袖北限の海女の会大向広子氏, 中川やえこ氏, 大下成子氏, 欠畑きわ子氏ら, 北限の海女の皆様, 実地調査やアンケート調査にご協力いただいた皆様に謹んで感謝の意を表す. また本研究は, JSPS 科研費 18K13252 の助成を受けたもので, 関係各位に深く感謝する.

参考文献

- 1) 武内航, 堀井絵里, 藤代一成: 吹奏アニメーションにおける音源同期型姿勢制御, 情報処理学会 第 80 回全国大会講演論文集, No.1, pp. 315-316 (2018).
- 2) Wakana Asahina, Naoya Iwamoto, Hubert P.H. Shum, and Shigeo Morishima: Automatic Dance Generation System Considering Sign Language Information, Proc.SIGGRAPH 2016 Posters, No.23 (2016).
- 3) 平館祐樹, 東山聖生, 外里有蘭, 細川靖, 土井章男, 高田豊雄: 北限の海女仮想体験システム「海女 via-WHB」の潜水動作学習, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2018 論文集, pp.129-133 (2018).