

視覚・触覚を持つリアクティブバーチャルクリーチャ

三 武 裕 玄[†] 青 木 孝 文[†]
長谷川 晶一^{††} 佐 藤 誠[†]

Reactive Virtual Creature with Optical and Touch Sensation

HIRONORI MITAKE,[†] TAKAFUMI AOKI,[†] SHOICHI HASEGAWA^{††}
and MAKOTO SATO[†]

1. 背景と目的

バーチャルクリーチャ(人間の考え出した生き物・キャラクタの総称)は、映画やテレビの登場人物・ゲームのキャラクタなど様々な場面で使われ、インタラクティブや感情移入の対象となり、仕草や行動・表情変化等によって個性やストーリーを表現する役割を担っている。そのため、魅力的な体験を提供するために、インタラクティブの対象としてリアリティが高く、感情移入しやすいバーチャルクリーチャの実現が重要である。

また、バーチャルクリーチャとのより深いインタラクションによってエンタテインメント性やアート性を高めるため、様々なインタフェースが提案されてきた。近年では実世界と同様に身体を使った直接的・物理的な(=フィジカルな)インタラクションを実現するインタフェースが登場し、物理的な入力に対してバーチャルクリーチャが力学に従った多様な反応動作をすることが、リアリティを高めるために必要となっている。

一方で、バーチャルクリーチャは生物の表現であるため、実際の生物と同様に周囲の環境から感覚器によって得られる情報に基づいて行動することでリアリティの向上が期待される。特にフィジカルなインタラクションでは、体験者(プレイヤー)がバーチャルクリーチャの周囲で行動したりバーチャルクリーチャに

直接接触したりする際に無限の位置関係を取り得るため、バーチャルクリーチャが物体の位置や接触状態を適切に反映した反応動作を行う事がより重要となっている。

Nintendogs(任天堂 2005)ではタッチパネルを使用し、画面内のバーチャルクリーチャ(犬)に、“頭を撫でる”、“毛をとかす”等のフィジカルなインタラクションを行うことが出来る。あらかじめ多数の反応動作をアニメーションとして作り込んでおくことで魅力的な反応動作を実現している。また、筆者らは作品Kobito¹⁾²⁾において実物体を通したバーチャルクリーチャとの力覚インタラクションを実現し、キャラクタを実物体でつづいた際の力学的なリアリティのある反応動作を、あらかじめ用意したアニメーションと剛体シミュレーションの組合せにより生成する手法を提案してきた。

本研究では、感覚系のモデルと力学的運動生成機構を組み合わせる事で、バーチャルクリーチャが周囲の物体の位置や動き・接触に応じた多様な反応動作をリアルタイム生成する手法を構築する事を目的とする。これにより、複合現実感環境のような、バーチャルクリーチャとの間で同じ空間を共有した状態において、体験者が指先で直接バーチャルクリーチャに対して細やかなインタラクションを行い、バーチャルクリーチャが体験者の指先の位置や動きに応じてバーチャルクリーチャ自身の興味・関心を反映した多様な反応動作を行う事が可能となる。

2. 提案手法

本研究では、心理学における選択的注意の概念に着

[†] 東京工業大学 精密工学研究所
P & I Lab., Tokyo Institute of Technology

^{††} 電気通信大学 知能機械工学科
Dept. of Mechanical Engineering and Intelligent Systems,
University of Electro Communications

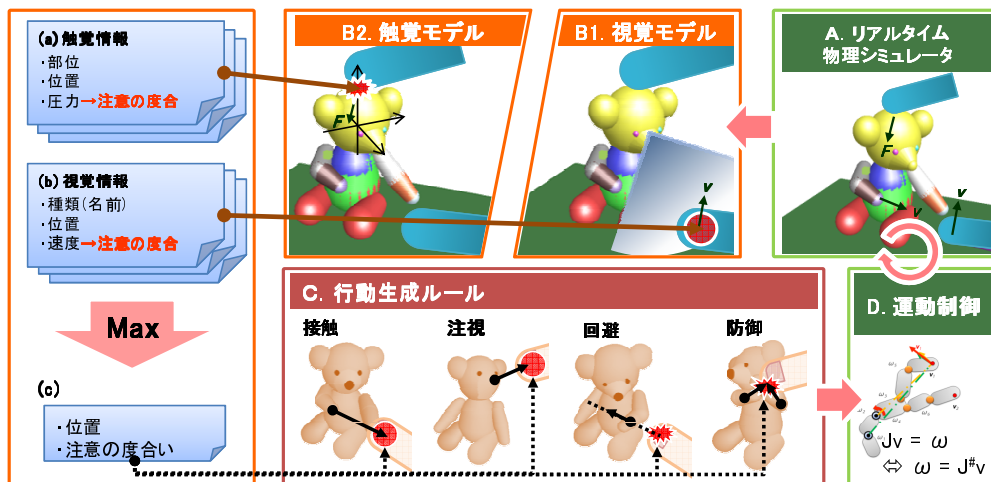


図 1 提案手法の全体像

Fig. 1 Overview of the proposed method

目する．脳は感覚情報の全てを処理する事はできないため，関心のある対象や感覚的に目立つ情報に対しては意識の集中や感覚器の運動（視線移動や手先の移動など）が起こる．注意に伴う感覚器の運動はその生物の関心対象をわかりやすい形で反映するものと言える．バーチャルクリーチャに注意のモデルを搭載する事で，視線や手先の運動によって興味・関心の対象を表出するバーチャルクリーチャが実現すると考えられる．

提案するバーチャルクリーチャの全体像を図 1 に示す．本手法は，A. 多関節剛体モデルのリアルタイム物理シミュレーション，B. 視覚・触覚的注意を模擬した感覚系モデル，C. 行動決定ルール，D. 逆運動学と関節角 PD 制御による到達運動制御，の 4 つの要素から構成される．

本手法により，バーチャルクリーチャの周囲での体験者の動作や接触の場所・力に応じて，多様な反応動作を行わせることを実現する．例えば，キャラクタの前で手を振る・キャラクタをつつくなどすると気づいて振り向き，体験者に触れようと手を伸ばす（注意・関心），強く叩くと嫌がって避ける（感情を反映した反応動作），ユーザとキャラクタで直接ものを受け渡す（連携動作）などが可能となる．

2.1 バーチャルクリーチャの多関節剛体モデル

バーチャルクリーチャを含むバーチャル世界全体を剛体モデル・多関節剛体モデルとして表現し，リアルタイム物理シミュレーションを行う（図 1A）．バーチャルクリーチャの動作生成は，多関節剛体モデルに加える力・トルクを制御する事によって行う．これにより，バーチャルクリーチャの力学的な反応動作を実現する．また，体験者のインタラクションは，力覚インタフェース等を用いてシミュレータ内のアバターを操作するこ

とによって行う．

2.2 視覚・触覚的注意のモデル

リアルタイム物理シミュレータの保持する，バーチャルクリーチャの周囲の剛体の位置・運動・接触力の情報に基づき，視覚・触覚を模擬したモデルを用いてバーチャルクリーチャにおける感覚情報を再現する（図 1B）．感覚的に目立つ情報に対して自ずと注意が向けられるボトムアップ性の選択的注意の概念に基づき，各感覚情報はバーチャルクリーチャ周囲の剛体それぞれに対してどの程度注意を引くかを表す数値を列挙した物とする．

具体的には，視覚については，視野内で高速に運動している物体は視覚的な注意を引きつける，という心理学の知見に基づき，バーチャルクリーチャの視野に入っている剛体それぞれについて運動速度の絶対値を注意を引きつける度合いとする．これに対象の剛体の位置と種類（体験者の指先・積み木のブロックなど）を表す単純なラベルを組合せ，視覚情報とする（図 1(b))．

また，触覚については，剛体シミュレータからバーチャルクリーチャに対する接触の接触力・接触面積を取得し，接触圧力を計算して注意を引きつける度合いとする．これに剛体の位置とバーチャルクリーチャのどの部位に接触しているか（頭部・腹部など）を表すラベルを組合せ，触覚情報とする（図 1(a))．

さらに，バーチャルクリーチャが特別な関心を持っている物体があるとき，その剛体の注意の度合いに一定値を加算する．これは，トップダウン性の選択的注意に対応する．例えば体験者の指先はバーチャルクリーチャにとってアクションを起こす存在であるため関心の対象である．

最終的に，全剛体の中で注意の度合いが最も大きい

剛体を注意の対象として選択し、行動ルールにおける行動決定の対象として用いる (図 1(c)) .

2.3 行動ルール

感覚情報に基づき、反応行動を決定するのが行動ルールである (図 1C) . 提案手法では、まずルールを用いて感覚情報から行動の種類 (手先を伸ばす、など) を決定し、次に感覚情報に含まれる位置情報に基づき行動の制御目標 (手先を伸ばす行動であれば目標手先位置) を定める . これにより、剛体の位置に応じた多様な反応動作を複数のルールのみで記述する事ができる .

今回、行動の種類としては「視線を向ける」「手を伸ばして触れる」「避ける」「ガードする」の 4 種類を実現した . 行動決定ルールとしては、与えられた感覚情報および体験者への好感度のパラメータによって行動の種類を選択するルールを作成した .

体験者への好感度は、体験者の触れ方によって変化する . バーチャルクリーチャにとって強い力を与え続けると減少し、適度な力で触れ続けると増加する . 体験者の指が最も注意を引きつける時、体験者の好感度が高ければ体験者に対して「視線を向ける」「手を伸ばして触れる」行動を行う . 逆に好感度が低かった場合は体験者の指から「避ける」「ガードする」行動を行う . また、その他の物体が注意を最も引きつける時、バーチャルクリーチャは「視線を向ける」「手を伸ばして触れる」行動を行う .

2.4 逆運動学と関節角 PD 制御による到達動作

行動ルールによって決定した行動と、感覚情報に基づく行動対象の剛体の位置情報から、実際にバーチャルクリーチャの運動を制御し動作を生成する (図 1D) .

感覚情報に従ってバーチャルクリーチャが行う反応動作の基本となる運動制御器として、バーチャルクリーチャの身体を構成する任意の剛体に任意の位置・姿勢を実現させる到達運動制御器を構成した . 到達運動は、構成剛体の最終目標位置・姿勢を達成するための関節角度を逆運動学によって求め、求められた関節角度に向けて関節角度を PD 制御することによって実現する . 逆運動学計算にはヤコビアン²⁾の重み付き擬似逆解による方式を用いる事で、任意のバーチャルクリーチャ身体構成に対応する汎用性を実現した .

一種類の行動は、バーチャルクリーチャのどの部位を、感覚情報に含まれる目標剛体の位置情報に基いてどのような位置・姿勢に到達させるか、のルールによって記述する . 今回実現した 4 種類の行動については、それぞれ以下ようになる .

視線を向ける 頭部の剛体を、目標剛体の方向を向く姿勢に到達させる

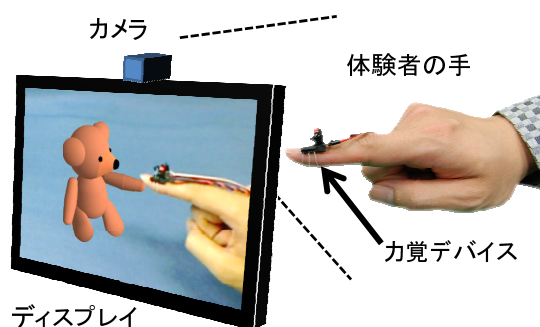


図 2 提案バーチャルクリーチャとのインタラクション環境
Fig. 2 Interaction System for Proposed VC

手先で触れる 両手先を、目標剛体の表面に到達させる

避ける 全身の剛体を、目標剛体から遠ざかる位置に到達させる

ガードする 両腕の剛体を、目標剛体とガード対象 (頭部など) の間の位置に到達させる

到達運動制御を用いた行動の記述により、同一種類の行動であっても実際には目標剛体の位置に応じて異なった運動が実現する . これにより、バーチャルクリーチャと周囲の環境の物体との位置関係を反映した多様な反応動作が生成される .

3. インタラクションシステム

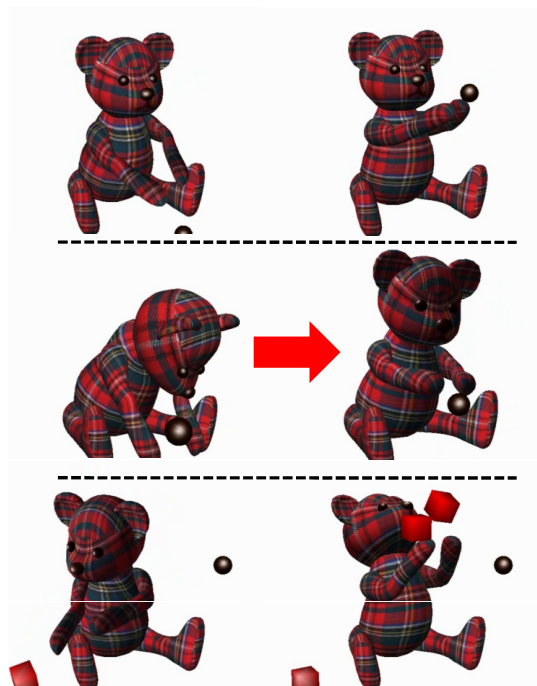
提案手法によるバーチャルクリーチャとのインタラクションを実現するため、複合現実感提示および力覚インタフェースを備えたインタラクション環境を構築した (図 2)

液晶ディスプレイの裏にカメラを設置し、取得した映像に対してバーチャルクリーチャを重畳表示することで複合現実感提示を行う . また、青木³⁾の提案したワイヤによる指先への力覚提示デバイスを用い、体験者が指先でバーチャルクリーチャに接触すると指先に対して力覚を提示する . これにより、バーチャルクリーチャが体験者からの接触を感じて反応行動を行うだけでなく、体験者もバーチャルクリーチャとの接触を感じて体験を行う、対称的な触覚インタラクションを実現した .

4. 評価

実際にバーチャルクリーチャとのインタラクションを行い、反応動作の生成を行った . 結果、触れた場所やユーザの手の動きに応じた反応動作を得ることができた . 実際に生成された動作の例を図 3 に示す .

また、構築したインタラクションシステムを、提案手法によるバーチャルクリーチャとのインタラクシ



上：体験者の指先（球）を注視し、手を伸ばす 中：指先が視野に入ると気がつき、手を伸ばす 下：より動きが大きく、注意を引く物体を注視する

図 3 反応動作生成例

Fig. 3 Example of Generated Reactions



図 4 デジタルコンテンツ EXPO での展示風景

Fig. 4 Exhibition at Digital Contents EXPO

ンを実現する作品“Haptic Ring”としてデジタルコンテンツエキスポ 2009(2009 年 10 月 22 日～25 日、日本科学未来館、図 4)において展示し、1000 人以上の来場者が体験を行った。体験者の多くからキャラクターがかわいいといった感想が得られたことから、提案手法は魅力的な反応動作を生成できていたと考えられる。また実際にインタラクシオンを行った体験者からは、(視線を向けたり手を伸ばす動作に対して)猫じらしに対する猫の動作のようだ、(避けたりガードしたりしている様子に対して)嫌がっている様子が伝わってくる、くすぐったそうだ、などの感想が得られた。

5. まとめと今後の展望

本論文では、指先を用いた直接的かつ細やかなインタラクシオンに対してリアリティの高い反応動作を行うバーチャルクリーチャを実現する手法について提案を行った。選択的注意に基づく感覚系のモデルとリアルタイム剛体シミュレーション・逆運動学を用いた運動制御を組み合わせる事で、バーチャルクリーチャが周囲の物体の位置や動き・接触に応じた多様な反応動作をリアルタイムで行う事を可能とした。

今後、動作の多様性や意図表現が実現しているか等の評価を行い、手法としての実用性を検証していく予定である。また、感覚系・運動制御系のモデルとしてより実際の生物に近い物を用いる事で、意図を表現する動作を自動生成するバーチャルクリーチャ・フレームワークの実現を目指す。

近年物理シミュレータを利用したコンシューマゲームが多数販売されているが、これらは本システムと親和性が高い。ゲーム内で発生する物理的な状況に応じて、キャラクタの行動を自動生成する事が可能になると考えられる。私たちはこのシステムがエンタテインメントの分野で使われることを信じている。そして多くの家庭にこのエンタテインメントシステムが導入され、家族や友達、恋人とともにバーチャルクリーチャとのインタラクシオンを楽しむ世界が到来するだろう。そして将来、私たちとバーチャルクリーチャとの関係は、側にいてくれて、触れることで癒しをもたらすペットとの良好な関係に近づいていくだろう。

参 考 文 献

- 1) 青木孝文, 三武裕玄, 浅野一行, 栗山貴嗣, 遠山喬, 長谷川晶一, 佐藤誠: 実世界で存在感を持つバーチャルクリーチャの実現 Kobito -Virtual Brownies-, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.11, No.2, pp.313-322 (2006).
- 2) 三武裕玄, 青木孝文, 浅野一行, 遠山喬, 長谷川晶一, 佐藤誠: キャラクタとの物理的なインタラクシオンのための剛体モデルと多次元キーフレームの連動による動作生成法, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.12, No.3, pp.437-446 (2007).
- 3) 青木孝文, 三武裕玄, 長谷川晶一, 佐藤 誠: ワイヤによる皮膚感覚刺激を用いた指先装着型接触感提示デバイス, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.14, No.3, pp.421-428 (2009).