

令和 4 年 6 月 28 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K12284

研究課題名（和文）キャラクタの動作データや行動決定AIをデザインしやすくする身体動作生成エンジン

研究課題名（英文）Autonomous Motion Engine for Behavior and Reaction Design of Interactive Character Agents

研究代表者

三武 裕玄（Mitake, Hironori）

東京工業大学・科学技術創成研究院・助教

研究者番号：30613939

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：行動決定AIからの簡単な指示だけで状況に応じた多様な反応を自動で行わせることができ、なおかつ魅力的な動作を直感的な方法でデザインできる動作生成エンジンを実現することは、魅力的なコミュニケーションエージェントを実現する上で重要性が高い。そこで、身体部位の位置・姿勢到達運動を単位とし、逆運動学と物理演算によって到達運動により全身の身体動作を生成する身体動作生成エンジンの実現、従来のアニメーション手法で作られた動作データを到達運動列によるアニメーションに変換する手法、および提案エンジンにおいて失敗と修正の繰り返しであるマイクロスリップを自動生成することで状況に応じた変化を与える手法の検討を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高度なインタラクションが可能なキャラクタを創作するには多くのアニメーションデータや時間のかかる機械学習を必要とし、そうでない場合アニメーションデータの切り替えを用いる従来の手法では動作の自然さに乏しかった。提案手法は簡便な創作手法でも身体を用いた高度なインタラクションを可能にする。これにより、生物らしい反応動作そのものを簡単に手作りにすることができるようにし、生活の様々な場面を彩る多彩なキャラクタエージェントが創作される基盤を提供する。

研究成果の概要（英文）：For creation of attractive embodied communication agents, motion generation engine to enable both various reactions according to situation and capable of handcrafting expressive animations are important. We propose reactive animation framework for characters which is based on reaching motion, realized by minimum jerk trajectory, inverse kinematics and physics simulation. In addition, we realized conversion method from conventional motion data into reaching motion based reactive animation, and autonomous addition of micro-slipping by mimicking memory and perception mechanisms.

研究分野：キャラクタアニメーション

キーワード：インタラクティブキャラクタ 自律エージェント アニメーションシステム 躍度最小軌道 マイクロスリップ

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

CG キャラクタを用いたコミュニケーションエージェントが大きな注目を集め、多岐にわたる用途(集客・案内・店員・広告・ニュースキャスター・話し相手・etc.)に使われつつある。これらの用途において自然な動作は、エージェントの魅力やキャラクタ性の表現/直感的な対面インタラクションの実現の両面から重要であり、相手との位置関係など様々な状況に応じて、キャラクタにあわせた自然で魅力的な動作をタイミングよく実現できることが望ましい。しかし使いやすい動作生成エンジンはまだなく、多くのコミュニケーションエージェントは、扱いやすい従来手法として、あらかじめ用意した動作データを行動決定 AI の指示によって切替えながら再生することで動作している。

ゲーム作品をはじめキャラクタの魅力的な動作には、従来から動作データ(キーフレームアニメーション、モーションキャプチャ等)が用いられてきた。動作データは魅力的な動作をデザインしやすい反面、切替えの際に不自然な動作が起きたり、逆にスムーズな切替えを保証するために動作の切替えが自由なタイミングでできなかつたりするため、必要な場面で素早い反応をさせる事が難しい。また、同じ動作データを再生すると毎回同じ動作をしてしまうため、人間の動作のような自然なゆらぎを持たせるにはわずかず異なる多数の動作データをあらかじめ用意する必要がある。キーフレームアニメーションで動作を作成する場合、関節角度ひとつひとつを編集する必要や、滑らかな加減速・慣性やオーバーシュートの効果・揺れ動作など力学的な動作までも全て手作りする必要などで手間がかかっている。

一方で、動力学シミュレーションと制御によって計算で動作を自動生成する手法も研究され、近年は自然な動作を実現する制御器を機械学習する手法も提案されている。しかしこれらの手法では、得られる動作を調整するために動作そのものではなく動作を生成する法則やそのパラメータを調整する必要があり、動作のデザインが非常に難しい。また、歩行やスポーツ等の動作であれば動作の良し悪しを動力学に基づく目的関数で表し最適化計算で動作を生成する手法も実現しているが、コミュニケーションに伴う動作に力学的最適性は薄く、「かわいい動作」などは文化依存性も大きいいため目的関数の設計は現実的でない。機械学習を用いる手法も、キャラクタごとに大量のモーションデータを学習する必要があるとしたり、動作を少し変更するだけでも長時間の再学習が必要であったりするなど課題は多い。

このことから、行動決定 AI からの簡単な指示だけで状況に応じた多様な反応を自動で行わせることができ、なおかつ魅力的な動作を直感的な方法でデザインできる動作生成エンジンを実現することは、魅力的なコミュニケーションエージェントを実現する上で重要性が高い。

2. 研究の目的

本研究では次の特徴を備える動作生成エンジンを実現し、自然な動作が可能なコミュニケーションエージェントを実現できるようにすることを目的とする。

- (1) キーフレームに類する直感的な方法で直接動作の目標ポーズを指定できること。このとき、各関節の角度ではなく主要な部位(例:手を振る動作なら手先など)の目標位置・姿勢等を指定するだけで済むこと
- (2) 身体の動力学に基づく滑らかな加減速や揺れ、筋肉・神経の特性に由来する自然なランダム性が自動で付与された動作を行うこと
- (3) 少数の動作パターンを制作することで、状況に応じて適切に変化する動作を生成できること

3. 研究の方法

まず、基本となる身体動作生成エンジンを実現する。状況に応じて変化する身体動作を記述・利用しやすくするためのフレームワークとして、身体部位の位置・姿勢到達運動を単位とし、逆運動学と物理演算によって到達運動を実現することで全身の身体動作を生成する手法を実現する。

次に、到達運動列によるインタラクティブな動作の制作手法として、従来のアニメーション手法で作られた動作データや、モーションキャプチャによる動作データも利用できるようにするために、到達運動列によるアニメーションに変換する手法の実現を行う。

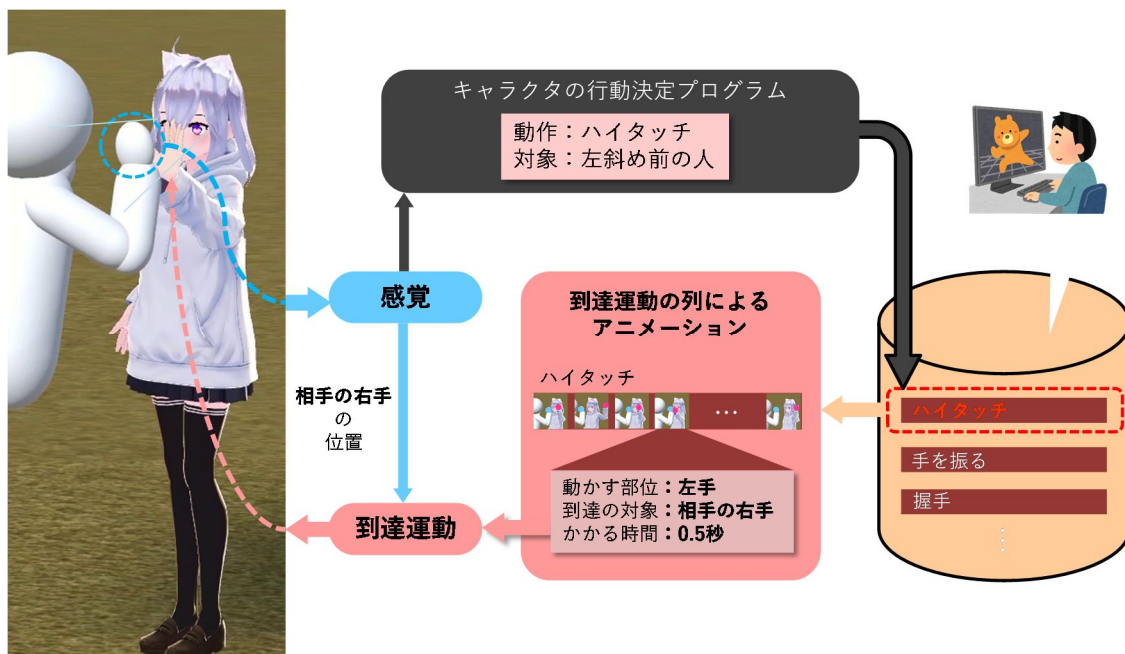
また、到達運動列によるアニメーションに対し、対象物の位置に応じた動作の追従のほかにも状

況に応じた変化を与える手法として、マイクロスリップの自動生成を試みる。人の動作には、わずかな失敗と修正が多数生じる。このような動きの澁みの日常的活動において観察される行為の淀みの現象のことを「マイクロスリップ」という感覚と記憶に基づく行動生成のモデルにより、マイクロスリップ動作を自動生成できる仕組みを実現する。

4. 研究成果

4.1 身体動作生成エンジン、および実現したキャラクタ

滑らかな単位動作として躍度最小軌道を用い、キーフレームで指定された位置・姿勢・速度・角速度等を目標時間で達成するよう単位動作をキーフレーム毎に生成し足し合わせることで身体の各部位ごとの目標位置・姿勢等の軌道を生成する。次に身体各部位が目標の位置・姿勢等をとるような全身の関節角度・角速度を逆運動学により算出する。関節角を目標関節角度・角速度に向けてPD制御し物理身体モデルを駆動する。



動作をデザインするユーザインタフェースとして、身体部位の目標位置・姿勢等のキーフレームをビジュアルに編集し、動作を確認しながらその場でキーフレームを調整することのできる GUI 環境も実現した。コンテンツ開発者が利用しやすいよう、利用者の多いゲーム開発環境 Unity のプラグインとして作成した。

さらに、提案手法によるインタラクティブなキャラクタの例として、VR 空間内でプレイヤーとキャラクタが直接ふれあうことのできるキャラクタを作成し、必要な反応動作を提案手法によって実現した。



4.2 関節角時系列による動作データの到達運動列への変換

入力動作と、躍度最小軌道の重ね合わせで表現された軌道との差を最小化するよう躍度最小軌道のパラメータを求めることで、入力動作を躍度最小軌道へと分解する。

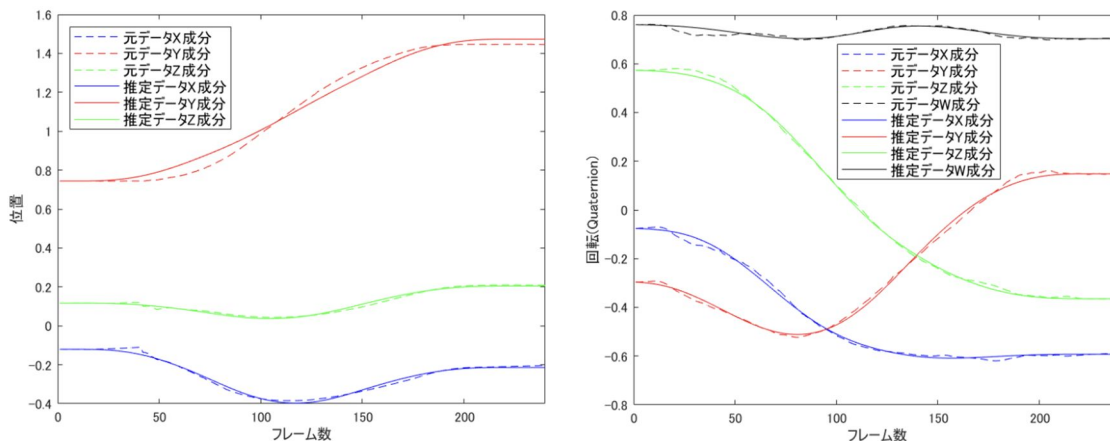
パラメータ数の増加に対して計算量が指数的に増えるため、各躍度最小軌道のタイミングの推定と、それを用いた位置座標の推定を分けることで同時に推定するパラメータ数を削減した。

評価関数には、元データと再現データの差分が小さくなるようにする最小二乗法と、個々の軌道の目標がわかりやすく、編集しやすいパラメータを推定できるような指標や推定を早く終わらせる指標を用いている。具体的には、隣り合った軌道の到達目標の変化を緩やかにするための指標、各パラメータの値が大きくなりすぎないようにするための指標、モーションデータの終了姿勢が一致するという制約、の3要素を足し合わせて評価関数とした。特に隣り合った軌道の成す角が大きくなると個々の軌道の到達目標がバラバラな位置に存在するモーション

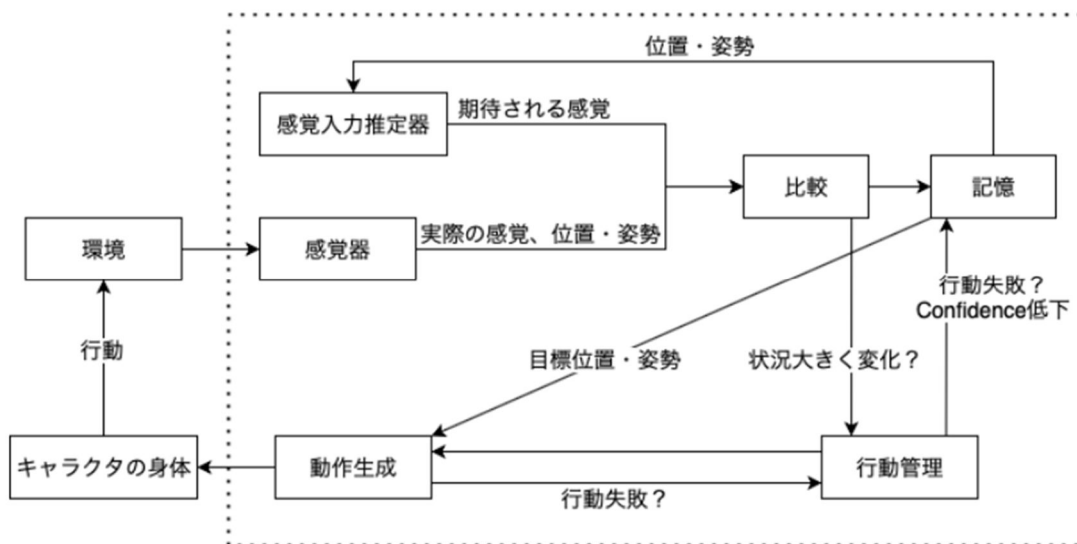
データとなってしまふ。個々の到達目標はそれぞれが人間の意図した目標であるため、そのような軌道群はあまりよいものではなく、また、のちに軌道を編集する際にも編集しづらいものとなる。したがって本手法では緩やかな角度変化を持つ軌道群を推定することとした。

最適化には共分散行列適応進化戦略 (CMA-ES) を用いた。

下図は左手を、気を付けの姿勢から顔の横へ運んだ際のモーションキャプチャデータと、本手法を用いて躍度最小軌道へ分割し合成したデータの比較である。推定データは位置回転角共に二つの躍度最小軌道の合成で表されており、位置の y 軸に若干の誤差が見られるが、そのほかの部分ではよく特徴を捉え、再現できている。



4.3 到達運動列アニメーションに対するマイクロスリップ行動の自動生成



本提案において記憶には2つの役割がある。一つは感覚器から最後に得られた物体の位置・姿勢を保持すること、もう一つはその位置・姿勢がどの程度信頼できるかを表す信頼度を保持することである。

まず、記憶された位置・姿勢情報を用いて動作を行うことで、記憶が不正確な時に動作を失敗させることができる。

また、信頼度は、記憶の正確さがどの程度保たれているかの度合いを表し、感覚入力があると上昇し、時間経過と共に低下する。また、動作失敗によっても大きく低下する。具体的には、時間経過によって毎フレーム信頼度を一定の割合で下げてから、信頼度が低い時は位置情報にランダムノイズを付加した。こうすることで、信頼度が低いと不確かさが増すようになる。

信頼度は、一定の閾値を下回る物体を対象に動作しようとするときは自動的に目視確認動作を挟むために用いる。目視確認を行う閾値が高いとよく確認を行う慎重な性格を表し、逆に閾値の低いキャラクタはあまり目視確認を行わない大雑把な性格を表せると考えられる。

予定外の接触や、信頼度の低下によって修正動作に入る際、最初の動きから再開するのは不自然である。一方で、動作のどの段階から再開すべきかは動作によって異なると考えられる。

本研究では動作を躍度最小軌道による小さな到達運動の重ね合わせで実現する手法を用いることから、動作の構成要素である到達運動のうちどの到達運動から再開するかを動作ごとにあらかじめ決めておくこととした。

提案手法を用い、7つの動作を作成した。

- (1)ティーカップの位置を確認してから手を伸ばして取る
- (2)ティーカップと間違えて隣のマグカップに手を伸ばす
- (3)上方の棚に手を伸ばすが、途中で机にぶつかる
- (4)カード状の物を取ろうとするが、何度も掴み損ねる
- (5)カード状の物を取る際、前方に注意しながら間違えた方に手を伸ばす
- (6)動作は(5)と同じで、カメラの方を注視しながら行う
- (7)動作は(5)と同じで、どこにも注視しない

提案手法によって生成された視線、体の動きで表現されたマイクロスリップが作成者の意図通りであり、それが他人にも伝わるかを評価した。具体的には録画した動画を被験者に見せ、表現意図が伝わったかを問う質問を行った。

結果、記憶上の位置のズレに応じたマイクロスリップは動作作成者の意図通りに表現でき、他の人にも伝わった。一方、手を上げるときに手が机に当たったという意図の動作では、机にぶつかったことがあまり伝わらなかった。これは、予想外の衝突に対し、一律に同じ場所に手を引くとしたことが原因だと考えられる。この場合、当たった位置、物によって軌道を修正する必要がある。また、掴みにくい物を何度も掴み直す動作もあまり自然とは感じてもらえず、こうした動作をより自然なものとするのは今後の課題である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 杉森健、三武裕玄、佐藤裕仁、小栗賢章、長谷川晶一	4. 巻 61
2. 論文標題 接触による力学的反応を自動生成するアバター	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌	6. 最初と最後の頁 1697-1707
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.20729/00207633	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 小栗 賢章, 三武 裕玄, 杉森 健, 佐藤 裕仁, 長谷川 晶一
2. 発表標題 多彩で魅力的な触れ合いのできる自律キャラクターVGenと体験用オンラインVR環境
3. 学会等名 第25回 日本バーチャルリアリティ学会大会 Open Virtual Exhibition
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小栗 賢章, 三武 裕玄, 杉森 健, 佐藤 裕仁, 長谷川 晶一
2. 発表標題 自律キャラクターの遠隔多人数テストと調整のための共有VRフレームワーク
3. 学会等名 情報処理学会エンタテインメントコンピューティングシンポジウム2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hironori Mitake, Hsueh-Han Wu, Taro Ichii, Kazuya Tateishi, Shoichi Hasegawa
2. 発表標題 Utilization or Elimination of Mona Lisa Effect for Eye Contact with Characters
3. 学会等名 IDW 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Taro Ichii, Hironori Mitake, Shoichi Hasegawa
2. 発表標題 TEllipsoid: Ellipsoidal Display for Videoconference System Transmitting Accurate Gaze Direction
3. 学会等名 Proceedings of the 27th IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤 裕仁, 三武 裕玄, 杉森 健, 長谷川 晶一
2. 発表標題 VGentEditor: 操作部位と空間目標点を動作表現として用いたインタラクティブキャラクタの動作生成
3. 学会等名 第24回 日本バーチャルリアリティ学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小栗 賢章, 三武 裕玄, 杉森 健, 長谷川 晶一
2. 発表標題 自律エージェントとインタラクションができるVRプラットフォームの作製
3. 学会等名 第24回 日本バーチャルリアリティ学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小栗 賢章, 三武 裕玄, 杉森 健, 佐藤 裕仁, 長谷川 晶一
2. 発表標題 インタラクティブキャラクタのフレームワークと触れ合えるVRインタラクションシステム
3. 学会等名 情報処理学会シンポジウム インタラクション2020
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------