

# ビデオゲームのキャラクターの動作生成

## Character motion synthesis for video games

長谷川 晶一  
Shoichi Hasegawa

電気通信大学・科学技術振興機構さきがけ  
University of Electro-Communications / PRESTO JST  
hase@hi.mce.uec.ac.jp, <http://springhead.info/~hase>

**keywords:** digital game, video game, character motion, character animation, simulation

### Summary

In video games, characters perform important rolls, such as story telling or enemy characters, to construct game world. Behaviors and actions of characters must be generated in realtime in order to react to player's input. Recent progress of computer graphics and human interfaces bring three dimensional computer graphics in representations of characters and realize direct interaction between players and characters. Therefore, characters in recent video games are required to act variety of motions to react to player's interactions. In addition, realtime character motion generation methods to generate variety of motions attract attention of game developers.

This article introduces description of motion data, character motion generation methods employed in current video games and researches expected to be employed in future video games.

## 1. はじめに

ビデオゲームにおいて、キャラクターは、ストーリー上の登場人物やゲームの敵キャラクターなど、ゲーム世界を構築する上で重要な役割を果たす。

ビデオゲームでは、ユーザの入力に応じた行動・動作をさせる必要があるため、キャラクターの行動・動作はオンラインで生成する必要がある。このため、キャラクターの行動は、状態遷移規則や推論規則、エピソードツリー [中野 07] などで記述され、オートマトンや推論エンジンによる行動 AI によって逐次決定・更新される。たとえば、アクションゲームの敵キャラクター [Isla 05] では、各キャラクターにオートマトンを割り当てて行動を決定している。

さて、近年では、コンピュータグラフィックスとヒューマンインタフェースの進歩により、ゲームやエンタテインメント、メディアアートなどに用いられる表現は大きく変化している。キャラクターの表現も、3次元グラフィックスを用いたものが主流になったほか、移動量や目標位置をアナログ値で指定したり、キャラクターに直接触れたり押したりするような操作も可能となり、直接的なインタラクションが可能となった [任天 07] [Jeong 04] [Hasegawa 05] [青木 06]。このため、オートマトンや推論エンジンが出力する記号レベルの行動から、実際に画面に表示するための、状況に応じた動作を生成するキャラクターモーション生成が重要になってきている。

本稿では、動作データの記述法とビデオゲームに利用

されているキャラクターモーション生成手法を紹介した後、今後利用が期待できる研究を紹介する。

## 2. 動作生成の概要

ビデオゲームは、プレイヤーの操作に対する反応の面白さ、気持ちよさを活かしたエンタテインメントなので、キャラクターもプレイヤーの操作に対して機敏に反応する必要がある。また、プレイヤーがキャラクターに没入するためには、キャラクターを自由に操作できているとプレイヤーが感じられなければならない。このようなビデオゲームの性質を考えると、プレイヤーの操作や行動 AI の出力に応じた動作をリアルタイムに生成する必要がある。

また、キャラクターは、プレイヤーの感情移入の対象であったり、ゲーム内の登場人物であったりするので、キャラクターの性格、感情、意図などがプレイヤーに伝わる必要がある。このためにはキャラクターごとに個性のある動作を生成したり、状況にあった自然な動作を生成する必要がある。

このような動作生成を実現するため、ゲームでは、基本的には、動作データをあらかじめゲーム作成時に準備しておき、ゲームプレイ時には、これをプレイヤーの操作や行動 AI の出力に応じて順次再生することで動作を生成している (図 1)。

以下、本稿では、まず、動作データの記述法とオフラインでの動作データの準備 (4章) について説明する。次にオンラインの動作生成については、まず現在ゲームに

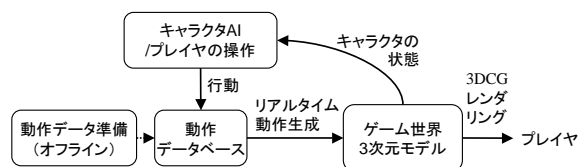


図 1 ビデオゲームにおけるキャラクタ動作生成の全体像

利用されているキャラクタモーション生成手法を紹介 (5 章) した後、今後ゲームなどのキャラクタの動作生成手法として利用が期待できる研究を紹介 (6 章) する。

### 3. 動作の記述

ゲーム作成時に用意する動作データは、ゲームプレイ時の動作生成や映像出力に都合がよい形式で記述しておくことが望ましい。ゲームプレイ時に生成する可能性がある動作すべてをあらかじめ準備しておき、ゲームプレイ時に再生するという単純な手法が基本となっている。

#### 3.1 3次元コンピュータグラフィクスによる表示

最近のビデオゲームは、3次元コンピュータグラフィクスを用いて映像表現を行うことが多く、キャラクタも3次元コンピュータグラフィクスを用いて表示される。そのため、キャラクタの3次元モデルを構築する必要がある。キャラクタを動作させるためには、キャラクタにさまざまな姿勢をとらせる必要がある。そこで、キャラクタを頭、手、胸、胴、腰、足のよういくつかのパーツに分割してモデル化し、パーツ同士を関節でつなぐ。キャラクタをこのようにモデル化すると、キャラクタの姿勢を関節角であらわすことができ、キャラクタの動作は関節角の変化で表すことができる。

ところで、この手法では剛体と関節でキャラクタをモデル化するため、ロボットのように関節部分でパーツ同士がすべることになり、人間や動物の関節としては不自然な映像が生成されてしまう。そこで、剛体や関節は表示せず、表示のための3次元モデルをひとつのメッシュ (3角形パッチ) で表し、メッシュの頂点を近くの剛体の動きにあわせて動かすワンスキンモデルと呼ばれる手法が用いられることが多い。

#### 3.2 関節角による表現

前述したようにキャラクタは、剛体と関節で表されるので、キャラクタの姿勢は全身の関節の関節角のセットで表すことができる。テレビやゲームの動画は、静止画像 (フレーム) を順番に表示することで実現されているので、各フレームに対応する関節角のセットを用意し、順番に表示することで、キャラクタの動作をアニメーションによる表示できる。キャラクタモーションの生成とは、この関節角のセットを作り出すことに相当する。

## 4. 動作データの準備

前節で説明したようにキャラクタの姿勢は関節角のセットであらわすことができるので、キャラクタの動作は関節角のセットであらわすことができる。実際には、動作を表すにはキャラクタ全体の移動量も必要となるが、ここでは、この移動量も関節角のセットに含めて考える。

#### 4.1 キーフレームアニメーション

ある動作を実現するには、すべてのフレームに対応する関節角のセットを準備すればよい。動作は連続なので、いくつかのフレームに対応する関節角を準備すれば残りのフレームについては、前後の関節角を準備したフレームの関節角のセットを補間して求めることができる。この手法はキーフレームアニメーションと呼ばれ、関節角を準備しておくフレームをキーフレームと呼ぶ。モーション作成者 (モーションデザイナー) は、モデリングソフトなどを用いてキャラクタの姿勢を見ながら、キーフレームでの関節角を調整することで動作データを準備する。

#### 4.2 モーションキャプチャ

キーフレームアニメーションでは、キーフレームでの関節角を調整して動作を作る部分に多大な労力がかかる。これに対して、人間が動作を演じ、そのときの人間の関節角を記録して利用するモーションキャプチャと呼ばれる手法がある。この手法では人間が演じた動作をそのまま利用するため、リアリティの高い (人間らしい) 動作を得ることができる。しかし、キャラクタが普通の人間ではない場合など、人間らしい動作が必ずしもキャラクタの動作として最適ではない場合も多い。また、取り込んだ関節角データから必要な部分を取り出したり、ノイズを除去したりといった作業が必要となるため、取り込んだ動作をモーションデザイナーが整形する必要がある。4.3節の手法はこの作業を自動化するためにも用いられる。

#### 4.3 動作データの最適化

まばらなキーフレームやデザイナーによる変形などにより物理法則を逸脱した動作データを物理法則に従うよう最適化することで、リアリティの高い動作に修正すること ([Witkin 88], [Rose 96], [Komura 00], [Safonova 05]) も提案されている。これらは、キーフレームアニメーションやモーションキャプチャデータの調整を省力化するが、動作データ全体を最適化するため、計算に時間がかかり、オンライン計算には用いることができない。

## 5. ゲームに使われているリアルタイム動作生成手法

ビデオゲームでは、プレイヤーの操作や行動 AI の出力に応じた動作を、リアルタイムに切れ目なく生成し続け

る必要がある。また、周囲の状況や演出のために、特定の点を通るなど、動作に制約が加わることもある。この章では、このような動作を生成するために、現在のゲームで用いられている手法を紹介する。

### 5.1 モーショングラフ

動作データを順に再生するとき、動作のつなぎ目で関節角とその時間微分(関節の角速度)が等しい場合は、動作を順に再生するだけで動作が自然につながる。しかし、関節角が等しくないつなぎ目では姿勢が突然変わり、また、関節角速度が等しくない継ぎ目では速度が突然変わるため、違和感のある動作が生成されてしまう。

そこで、始点と終点で関節角と角速度が等しくなるような動作データを複数用意し、モーションデータをノード、接続可能性を矢印であらわす有向グラフを構築する。このようなグラフはモーショングラフと呼ばれる。プレイヤーの操作や行動 AI の出力は、グラフの分岐点で適切な動作を選択することで出力動作に反映される。

ゲームを作成する際には、まず行動 AI やキャラクタの演出にあわせてモーショングラフを考え、モーショングラフにあわせて、キーフレームアニメーションやモーションキャプチャにより個々の動作データを用意していくことが多い。近年では、モーションキャプチャデータからモーショングラフを自動的に構成すること [Safonova 07] も実現されている。

### 5.2 モーションブレンディング

モーショングラフによる動作生成では、あらかじめ用意したモーションを再生することしかできない。このため、格闘ゲームで敵キャラクタに手が届くように手を動かしたり、足場にあわせて移動させるときのように、状況に応じた制約を満たす動作をその場で生成する必要がある場合には対処できない。そこで、準備した動作を補間して新たな動作を作ること、終点位置を指定したり特定の点を通るなどといった制約を満たす動作を生成する手法が利用されている [Mukai 05]。モーショングラフと組み合わせる場合には、モーショングラフ上に複数の点を取り、各点が表す動作を補間することで、目的の動作を生成する [Safonova 07]。

### 5.3 逆運動学

関節角から手先や足先の位置と向きを求めることを順運動学と呼び、逆を逆運動学と呼ぶ。人間の手足には冗長なため、手先・足先の位置と向きを決めても、手や足の関節角は一意に決まらない。そこで、何らかの評価基準、たとえば現在の姿勢からの角度変化を最小にするなど、を加えて解をひとつに定める。このようにすることで、手先や足先の位置から関節角を定めることができ、手先・足先位置の動きから手や足の動作を生成することができる。

この手法は、スポーツゲームでの足の動きのように、キャラクタと周囲の状況がユーザの操作やゲームの進行などによって毎回異なるような場合にも妥当な動作を生成できる。このため Electronic Arts 社のスポーツゲーム [Armstrong 07] などで上体の動きにあわせた足の動きを生成するためなどに使用されている。

## 6. ゲームへの応用が期待されるリアルタイム動作生成手法

本章では、今後ゲームなどへの応用が期待できるよう、リアルタイム動作生成に関する研究を紹介する。

### 6.1 物理シミュレータ+制御器

モーションデータを用いずにその場で動作生成する手法として逆運動学を利用する手法(5.3節)を挙げたが、逆運動学では、動力学=どのような力が関節に働いて運動が生じたか、は考慮されない。このため、重心のバランスや加減速が不自然になるなどの問題が生じることがあり、手先、足先の動きを慎重に与えたり、評価基準を工夫したりする必要がある。

キャラクタの身体の運動を物理シミュレーションし、関節などにトルクを与える制御器によって動作を生成すると、物理法則に適った動作が生成できる。[Hodgins 95] [Yin 07] などは、キャラクタの身体を多関節剛体モデルで表現し、動作に対応した制御器を用意して運動を生成している。

しかし、人間の体の制御法は完全にはわかっておらず、自然な動作を生成するための制御器を作ることは容易ではない。また、制御器は多数のパラメータを持つ事が多くこれらを決定することも必要となる。制御器をモーションデータから学習して構築することも研究されている [Nakanishi 04] [Sok 07] が、ゲームデザイナーやモーションデザイナーが望む動作をさせるための制御器を作るのは容易ではない。

そこで、そのような制御器を使いやすくパッケージ化する試みがなされている。NaturalMotion 社のモーション作成ソフトウェア [Natural Motion] では、モーションデザイナーが組み合わせて使用できるよう、パラメータ調整の済んだ多数の制御器をあらかじめ用意している。また、この仕組みをゲームエンジンに組み込み、ゲームプレイ中の動作生成に利用する製品も開発されている。ほかにも、[Shapiro 07] [Shapiro] のように、オープンソースのライブラリとして多種の制御器を提供する研究者も居り、使いやすい制御器のセットを利用可能な環境が整いつつある。

### 6.2 感覚・運動系のシミュレーション

プレイヤーがキャラクタに感情移入するためには、キャラクタが自分=人間と同じような心を持つと感じられる

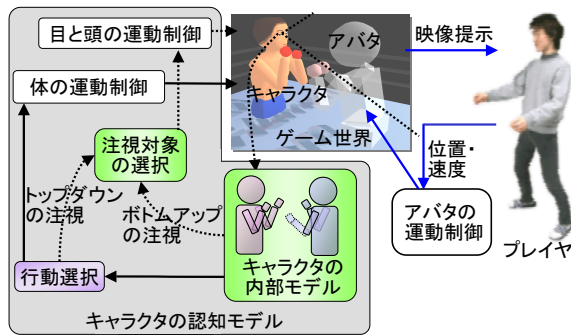


図 2 ボクシングゲームのための人の注視を模倣した動作生成

必要がある．そのため，人間に似た動作が生成できれば，感情移入しやすいキャラクタを構築できると考えられる．そこで，制御器の設計指針として，人間の感覚・運動系を模倣することが考えられている．人間の制御法全体は明らかではないが，筋肉や神経の働き，感覚系の働きについては，生理学・心理学の分野にある程度の知見がある．これらを利用して制御器の設計を行う試みがなされてる．たとえば，[Lee 02] は，眼球運動の解析に基づいて，[Masuko 05] は，心理学の知見に基づいて会話中の眼球運動を生成している．我々[三武 07] も眼球・頭部運動と視覚系の一部を模倣したモデルを構築し，ボクシングゲームの中で人の注視を模倣した動作生成を行った．以降本節では我々の手法について詳しく説明する．

我々の手法の概要を図 2 に示す．この手法では，視野内での物体の大きさや運動によるボトムアップ性の注視と行動 AI の出力によるトップダウン性の注視を模倣して注視動作を生成しており，キャラクタの意図と性格の表現を目指している．このシステムでは，キャラクタの視野内にある物体について，位置・姿勢・速度・角速度の情報を取得し，リストを生成し，これをキャラクタの視覚入力と考えている．そして，人間の視覚的注意についての知見を参考に，各物体に視覚的注意をひきつける強さを割り当て，ボトムアップ性の注意としている．さらに，行動 AI の行動の対象となる物体に注意をひきつける強さを割り当て，トップダウン性の注意としている．キャラクタは，これらの物体のうち最も強く注意を引く物体を注視対象とする．

この手法のキャラクタは，サッカーや追従運動を行って注視を実現する．サッカーについては，視覚心理の文献 [芋阪 93] 及び [Harris 98] を参考に速度などのパラメータを設定している．また，注視位置が視野の正面から大きく外れる場合，人間は，注視対象への注意の大きさに応じて頭部を対象に向けることが知られている [Carpenter 91] のでこれも模倣している．頭部運動の制御は到達運動と考えてジャーク最小制御が用いられている．

この手法を用いて，インタラクションを行ったところ，視線によって注意の対象を表現できたほか，トップダウンの注意とボトムアップの注意を切り替えることで，キャ

ラクタが自分の行動への集中している様子や逆に周囲が気になる様子を表現することができた．

このように感覚・運動系を模倣することで人間らしい動きを表現することができるが，生理学・心理学の知見だけで，制御器やシミュレーションモデルのパラメータが定まることはなく，依然として調整が必要となる．学習などと組み合わせると，パラメータを同定する必要があると考えられるが，ニューラルネットや強化学習などの汎用の学習アルゴリズムに対して，モデル化によるメリットがどの程度現れるかに注目したい．

### 6.3 キーフレーム+物理シミュレーション

実際に作品を作ることを考えると，キャラクタの動作をデザインし，キャラクタに命を吹き込むのは，モーションデザイナーであり，モーションデザイナーにとって使いやすい手法が求められる．我々は，キーフレームアニメーションと物理シミュレーションを組み合わせることで，キーフレームアニメーションの調整のしやすさ，モーションデザイナーにとってのわかりやすさと，物理シミュレーションの多様な動作が自動生成できるというメリットをあわせ持つ手法を提案している [三武 07] ．

前述した制御器による手法は，制御器の機能を覚えなければ動作の設計ができないため，モーションデザイナーにとって学習の負担が大きい．そこでモーションデザイナーが使い慣れているキーフレームアニメーションの手法で動作の調整が行えるようにする．一方，最近のインタフェースによる直接的なインタラクションに対してキャラクタに自然な反応をさせるには，プレイヤーの操作に対して力学的に妥当な動作を生成する必要がある．このためには，物理シミュレーションが有効である．

そこで，キャラクタをひとつの剛体として物理シミュレーションすることで，力学に従った全身動作を生成し，物理的・直接的なインタラクションを実現する．さらに，シミュレーションされた剛体にキーフレームアニメーションを連動させることで，多様な動作の生成を行う．連動させるキーフレームアニメーションをモーションデザイナーが変更することで，キャラクタの動作をデザインすることができる．たとえば，キャラクタごとに異なるキーフレームアニメーションを用意すればキャラクタの動作に個性を与える事が可能である．また，特定のポーズを記述したキーフレームを挿入しておけば，キャラクタに特定のポーズをとらせることも可能である．

この手法は，用意するキーフレームの数を少なくできる．また，キャラクタをひとつの剛体として物理シミュレーションするため制御が容易であり，運動制御のために調整すべき制御器のパラメータが少なく，高度な制御の知識を必要としない．さらに，キーフレームアニメーションはキャラクタの動作を記述する手法として従来から広く用いられているため，モーションデザイナーが持つスキルをそのまま活かせる．

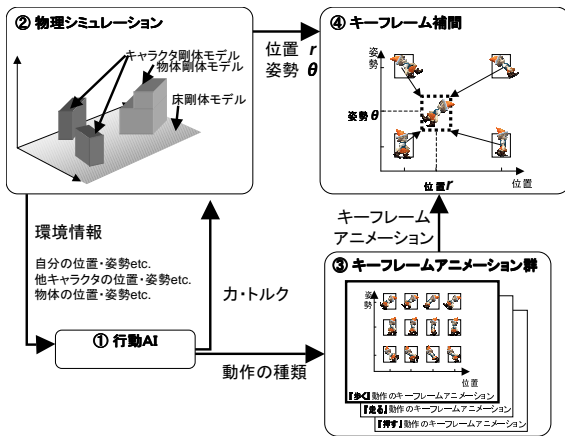


図 3 キーフレーム+シミュレーションによる手法の全体像

### § 1 全体像

この手法の全体像を図 3 に示す。①行動 AI は、キャラクタの行動とキャラクタを表す剛体に加える力・トルクを決定する。②物理シミュレーションにより剛体の運動を剛体に加わる力・トルクに基づいて計算する。③行動にしたがって、使用するキーフレームアニメーションの種類を選択する。④剛体のシミュレーション結果にしたがって、キーフレームの補間を行い、キャラクタの姿勢を得る。

以下、各構成要素について詳述する。

### § 2 物理シミュレーション

物理シミュレータは、複数の剛体の衝突・摩擦等を計算し、剛体の移動・回転をシミュレーションするものであり、キャラクタに動力学にしたがった多様な動作を与え、直接的なインタラクションを実現する。

物理シミュレータ内では、キャラクタを関節等を持たないひとつの剛体として表現する。これは、キャラクタの全身の移動・回転を計算するための動力学モデルとなる。通常、物理シミュレーションを用いた手法では、キャラクタを多関節物体としてモデル化するが、多関節モデルはパラメータが多く複雑な制御を必要とするため目的の動作を得るための調整も難しい。そこで、関節の動作には力学モデルを用いず、より調整・デザインのしやすいキーフレームアニメーションで表現する。また、シミュレーションモデルをひとつの剛体にすることで制御が簡単になるため、高度な制御の知識がなくても動作をデザインすることができる。剛体モデルがもつ形状・質量・重心・慣性テンソルなどのパラメータは、作品におけるキャラクタの設定にあわせて動作を観察しながら決定する。

### § 3 キーフレームアニメーション

キャラクタの詳細な動作は、キーフレームアニメーションで表現し、キャラクタのシミュレーションモデルである剛体の運動に連動させる。

例えばキャラクタが転ぶ様子をアニメーションで表現し、剛体の角度と連動するようにフレームを進めれば、

キャラクタが物理法則に従って転ぶような動作を生成できる。提案手法では、剛体の状態と連動してフレームを進める事ができるように多次元空間にキーフレームを配置したキーフレームアニメーションを用いる。さらにキーフレームのセットを複数用意する事で、キャラクタに様々な動作を行わせる。キーフレームアニメーションは実現したいポーズ(キーフレーム)を並べるという方法で製作できるので、力学モデルの制御パラメータの調整に比べて動作作成の方法として直観的で調整もしやすい。通常のキーフレームアニメーションでは 1 次元の時間軸に対してキーフレームを割り当てるが、提案手法では多次元空間内にキーフレームを複数配置したものをを用いる。このような多次元のキーフレームは、空間的キーフレーム法 ([Igarashi 05]) でも利用されている。

剛体の状態からキーフレーム空間への写像を定めることで、物理シミュレーションによって剛体の状態が決定すると、キーフレーム空間上の一点が決定し、キーフレームの線形補間によってキャラクタの姿勢が得られる。得られたキャラクタの姿勢を、剛体の位置に表示することで、剛体に連動するキーフレームアニメーションが実現する。

## 7. 終わりに

本稿では、ゲームなどインタラクティブな作品のためのキャラクタ動作生成手法を紹介した。感情移入しやすいキャラクタを実現するためには、現実の人間の動作を参考に動作生成を行えばよいので、人間の感覚・運動系を模倣して動作生成する手法は、技術的には面白い手法である。しかし、作品に登場するキャラクタの動作は、作者が表出させたいと考えるキャラクタが持つ意図や感情を鑑賞者に伝えるという役割を果たす必要があり、作者の意図が反映しやすいか—作者(モーションデザイナー)にとって使いやすいか—も良い作品を作るために重要な要素になる。このため、デザイナーの考え方やスキルにあわせて、制御やプログラムなどの専門知識を要求するのは極力さけながら、人間らしく意図や感情が伝わるようなキャラクタモーションを効率的に構築可能な手法が求められている。

表現技術の向上は作品表現の品質の向上につながるが、技術的な複雑さが面白い作品を作るための試行錯誤を困難にすることがないように、効率的で使いやすい手法を今後も考えていきたい。

## ◇ 参 考 文 献 ◇

- [Armstrong 07] Armstrong, E.: Improving Real-Time Motion, in *Proc. ACM SIGGRAPH 2007 Sketches* (2007)
- [Carpenter 91] Carpenter, R. H. S.: *Vision and Visual Dysfunction Volume 8 - Eye Movements.*, CRC Press (1991)
- [Harris 98] Harris, C. M. and Wolpert, D. M.: Signal-dependent noise determines motor planning, *Nature*, Vol.

- 394, pp. 780–784 (1998)
- [Hasegawa 05] Hasegawa, S., Dobashi, Y., Kato, M., Sato, M., Yamamoto, T., and Nishita, T.: Virtual Canoe: Real-Time Realistic Water Simulation for Haptic Interaction (2005), SIGGRAPH 2005 Emerging Technologies Project
- [Hodgins 95] Hodgins, J. K., Wooten, W. L., Brogan, D. C., and O'Brien, J. F.: Animating human athletics, in *SIGGRAPH '95: Proceedings of the 22nd annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pp. 71–78, New York, NY, USA (1995), ACM Press
- [Igarashi 05] Igarashi, T., Moscovich, T., and Hughes, J. F.: Spatial keyframing for performance-driven animation, in *SCA '05: Proceedings of the 2005 ACM SIGGRAPH/Eurographics symposium on Computer animation*, pp. 107–115, New York, NY, USA (2005), ACM Press
- [Isla 05] Isla, D.: Managing Complexity in the Halo2 AI, *Game Developer's Conference* (2005)
- [Jeong 04] Jeong, S., Hashimoto, N., and Makoto, S.: A novel interaction system with force feedback between real - and virtual human: an entertainment system: "virtual catch ball", in *ACE '04: Proceedings of the 2004 ACM SIGCHI International Conference on Advances in computer entertainment technology*, pp. 61–66, New York, NY, USA (2004), ACM Press
- [Komura 00] Komura, T., Shinagawa, Y., and Kunii, T. L.: Creating and retargetting motion by the musculoskeletal human body model., *The Visual Computer*, Vol. 16, No. 5, pp. 254–270 (2000)
- [Lee 02] Lee, S. P., Badler, J. B., and Badler, N. I.: Eyes alive, *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 21, No. 3, pp. 637–644 (2002)
- [Masuko 05] Masuko, S. and Hoshino, J.: Attentional Behavior Model for a Virtual Character, in *Proc. of Intl. Conf. on Active Media Technology*, pp. 511–516 (2005)
- [Mukai 05] Mukai, T. and Kuriyama, S.: Geostatistical Motion Interpolation, *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 24, No. 3, pp. 1062–1070 (2005)
- [Nakanishi 04] Nakanishi, J., Morimoto, J., Endo, G., Cheng, G., Schaal, S., and Kawato, M.: Learning from demon-stration and adaptation of biped locomotion, *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 47, pp. 79–91 (2004)
- [Natural Motion] Natural Motion, : endorphin:  
<http://www.naturalmotion.com/products.htm>
- [Rose 96] Rose, C., Guenter, B., Bodenheimer, B., and Cohen, M. F.: Efficient generation of motion transitions using spacetime constraints, in *SIGGRAPH '96: Proceedings of the 23rd annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pp. 147–154, New York, NY, USA (1996), ACM Press
- [Safonova 05] Safonova, A. and Hodgins, J. K.: Analyzing the physical correctness of interpolated human motion, in *Proc. ACM SIGGRAPH/Eurographics Symp. on Comp. Animation*, pp. 171–180 (2005)
- [Safonova 07] Safonova, A. and Hodgins, J. K.: Construction and Optimal Search of Interpolated Motion Graphs, *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 26, No. 3, pp. 106–1–106–11 (2007)
- [Shapiro] Shapiro, A., Ng-Thow-Hing, V., and Faloutsos, P.: Dynamic Animation and Control Environment, <http://www.magix.ucla.edu/dance/>
- [Shapiro 07] Shapiro, A., Chu, D., Allen, B., and Faloutsos, P.: A Dynamic Controller Toolkit, in *Proc. The 2nd Annual ACM SIGGRAPH Sandbox Symposium on Videogames* (2007)
- [Sok 07] Sok, K. W., Kim, M., and Lee, J.: Simulating Biped Behaviors from Human Motion Data, *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 26, No. 3, pp. 107–1–107–9 (2007)
- [Witkin 88] Witkin, A. and Kass, M.: Spacetime constraints, *Computer Graphics (Proceedings of SIGGRAPH 88)*, Vol. 22, No. 4, pp. 159–168 (1988)
- [Yin 07] Yin, K. K., Loken, K., and Panne, van de M.: SIMBICON: Simple Biped Locomotion Control, *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 26, No. 3, pp. 105–1–105–10 (2007)
- [三武 07] 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ョンのための剛体モデルと多次元キーフレームアニメーションの連動による動作生成法", *バーチャルリアリティ学会論文誌*, Vol. 12, No. 3 (2007)
- [青木 06] 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エーションの実現 Kobito -VirtualBrownies-, *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)
- [中野 07] 中野 敦, 河村 仁, 三浦 枝里子, 星野 准一: Spilant World: エピソードツリーによるインタラクティブなストーリー創発型ゲーム, *芸術科学会論文誌* (2007)
- [学阪 93] 学阪 良二, 中溝 幸夫, 古賀 一男: 眼球運動の実験心理学, 名古屋大学出版会 (1993)
- [任天堂 07] 任天堂: ゼルダの伝説 トワイライトプリンセス (2007)

〔担当委員: × × 〕

19YY 年 MM 月 DD 日 受理

---

著 者 紹 介

---

長谷川 晶一(正会員)

1997 年東京工業大学工学部電気電子工学科卒業, 1999 年同大学大学院知能システム科学専攻修士修了, 同年ソニー株式会社入社, 2000 年東京工業大学精密工学研究所助手, 2007 年電気通信大学知能機械工学科准教授, 現在に至る。バーチャルリアリティ, 力覚インタフェース, ヒューマンインタフェースの研究に従事。博士(工学)。