Vol.2014-HCI-157 No.78
Vol.2014-GN-91 No.78
Vol.2014-EC-31 No.78
2014/3/15

剣術を用いたゲームにおける動的モーション生成法

今澄亮太[†1]　星野准一[†2]

近年キャラクタ単体のモーションの品質は向上している．アクションゲームの戦闘場面のように，キャラクタの位置関係が動的に変化する場面では，臨機応変なモーション生成をすることで，モーションの品質を向上させることが重要である．本稿では，プレイヤの入力に対応した上で、キャラクタの体勢を考慮し、キャラクタ間の位置関係の整合性を保つモーション生成法を提案する．本手法では，キャラクタの位置予測に伴う行動決定をすることで，キャラクタが敵の動きの先読みをし、望ましい位置に体勢を崩さないで動作を行う．評価として，多くのアクションゲームで用いられる剣術の一つ，剣道を対象にして検証を行い，評価実験ではプレイヤ視点での印象向上の効果が確認された．

Dynamic motion generation method in the game with swordplay

RYOTA IMAZUMI[†1]　JUNICHI HOSHINO[†2]

Quality of motion of a single character has improved in recent years. As a battle scene of the action game, a scene in which the positional relationship of the character is changed dynamically, by the motion produced dynamically, that improve the quality of the motion is important. In this paper, we propose a motion generation method corresponding to the input of the player, in consideration of the posture of the character, maintaining the integrity of the positional relation between characters. In this method, by which the action decision associated with the position prediction of the character, the character is read ahead of the movement of the enemy, and performs ideal motion not break down the posture. As an evaluation, one of swordplay used in many action games, verified in the target kendo. Effect of the impression improvements in the player viewpoint was confirmed in the evaluation experiments.

1. はじめに

近年ゲームキャラクタの単体のモーションは作りこみの技術の向上により，高品質になってきている．モーションキャプチャなどの技術により，より人間らしく，滑らかな動きが可能になっている．

しかし，複数のキャラクタが相互に影響を及ぼしあう状況においては，キャラクタどうしの位置関係やキャラクタの身体的特徴などが反映されるため，一定のモーションのみを生成する固定的なモーション生成では，位置関係の整合性がとれない場合が生じる．たとえば，剣をもった 2 体のキャラクタの戦闘場面において，剣と剣がぶつかり合う際，それぞれのキャラクタのモーションの進行具合やキャラクタどうしの位置関係などによって，その衝突位置は多様に変化すると考えられる．しかし，一定のモーションのみを生成するモーション生成法では，あらかじめ用意されたモーションしか備わっていないため，ぶつかる位置はあらかじめ用意された箇所のみとなり，状況に応じて柔軟に位置関係の整合性をとることは不可能である．したがって，アクションゲームの戦闘場面など，相互に攻防が行われ，キャラクタの位置関係が動的に変化する場面では，キャラクタが望ましい位置に攻撃や防御をする臨機応変なモーション生成をすることで，より高品質になると考えられる．キャラクタ間の位置関係の整合性を保つ事や，クリエイタの意図した動きから外れないことなど，プレイヤから見て違和感のないように，キャラクタの体勢を考慮してモーションを生成することが重要である．

これまで，キャラクタ間における相互作用を考慮したモーションを動的に生成するための手法が提案されている．Shum らはターンベースフレームワークを利用したモーション生成法[11]を，Liu らは相互のキャラクタの空間時間を活用することでモーションを生成する手法[12]を提案した．Wampler らはゼロサムゲーム理論を用い，決定論的ではない手法で，他の手法よりもキャラクタが知的に見えるモーション生成法を提案した[13]．しかし，これらのモーション生成法においては，キャラクタが自律して行動しており，プレイヤからの入力は考慮に入れていない．Levine らは，動く相手と位置関係の整合性を保ちながら滑らかにモーションを繋ぎ，かつ，プレイヤからの入力に対応したモーション生成法を提案している[14]．しかし，生成する体勢を考慮に入れていない．

そこで本稿では，プレイヤの入力に対応した上で、キャラクタの体勢を考慮し、キャラクタ間の位置関係の整合性を保つモーション生成法を提案する．本手法では，キャラクタの位置予測に伴う行動決定をする．キャラクタが敵の動きの先読みをし、望ましい位置に体勢を崩さないでモーション生成を行うことで，武道のように決められた型で攻

†1 筑波大学情報学群情報メディア創成学類
College of Media Arts, Science and Technology, School of Informatics, University of Tsukuba
†2 筑波大学システム情報系
Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan

Vol.2014-HCI-157 No.78
Vol.2014-GN-91 No.78
Vol.2014-EC-31 No.78
2014/3/15

防を行うような場面などへの対応が可能となる．また，生成にはモーションブレンドを用いるため，用意するモーションが少ない点も利点として挙げられる．本稿では，評価として，多くのアクションゲームで用いられる剣術の一つ，剣道を対象にして検証を行う．また，ゲームではプレイヤから見た印象が重要であるため，評価実験ではプレイヤ視点での印象を評価する．

1.1 体勢の考慮

ゲームにおいて，モーションを生成する際，モーションを一定の体勢から逸脱しないようにする必要がある．その理由として，見た目上の問題がある．かっこよさを保ったモーションや攻撃らしい力の入ったモーションなど，クリエイタの意図した動きから外れないようにモーションを生成しなければ，ゲームとしての面白さが落ちてしまう．また，急激な軌道変化などの不自然な動きをさせないことも重要である．さらに，武道のようなスポーツでは動作の体勢が重視されている．

本研究の検証対象である剣道の場合，打突をする際はその体勢も適正でなければ有効打突とならない．面の場合は右足を踏み込み，腰を入れて打突する体勢が望ましいとされており，安定していない体勢での打突は有効打突とならないこともある．ただ当てればよいのではなく，体勢も重要な要素となっている．

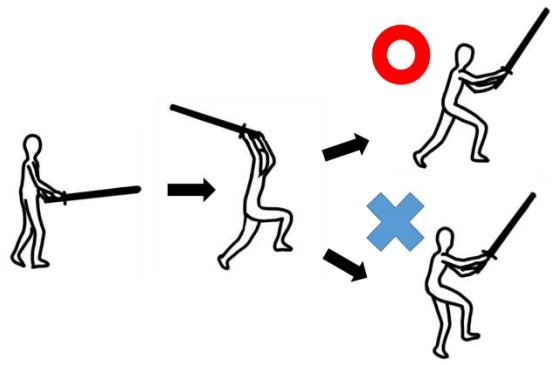


図 1　面の打突の体勢
Figure 1　Posture of Men

また，Levine らの研究のように，空手のパンチやキックと明記しているにも関わらず，空手らしい力の入ったモーションや踏み込み足，腕の引き方の考慮に欠けている場合は，正しい体勢でのモーション生成が出来ているとは言えない[14].

このように，キャラクタのモーションを生成する際はキャラクタの体勢の考慮が必要となる．

2. 従来研究

2.1 物理ベースの生成法

リアルな人間のモーションを生成するアプローチに，物理ベースの生成法がある．物理シミュレーションを用いた生成法は物理エンジン euphoria など，実際にゲームに応用されている手法である[1].

Faloutsos らは物理ベースのコンピューティングで人の動きを表現するためのフレームワークを開発した[2]．体のバランスなどの情報を元に，様々な角度に倒れる際のモーション生成のような状況に合わせた人間の動きを実現している．Yin らは周りに坂や物体が存在したときの人の動きを物理ベースコンピューティングで実現する手法を提案している．坂を登る，ものを乗り越える，物体を押すなどのより具体的な場面での物理ベースでのモーション生成を行っている[3].

また，物理シミュレーションを用いた地形に合わせた歩行モーションの研究も多く行われている．Mordatch らは，キャラクタがリアルタイムに動きを計画しながら，様々な地形の中を歩くようなモーション生成手法を開発した．他の手法と違い，事前にモーションを登録しておく必要がない[4]．Levine らも物理シミュレーションを用いて周りの地形に合わせた 3D キャラクタの動きを自動的に生成する手法について提案している．犬や動物の動きについても実装をしている[5].

しかし，物理ベースの生成法はゲーム特有の突発的な動きへの対応が難しく，戦闘場面のように素早くキャラクタの間で相互作用が行われる状況への対応は考慮に入れられていない．

2.2 モーションの再構成

個々のモーションを繋ぎ合わせる研究ではモーショングラフという手法がよく用いられている．Kovar らや Heck らはモーションデータをもとに，前処理としてコンピュータが自動的にグラフ作成や検索を行い，グラフの遷移で動きを繋げながら生成する，モーショングラフという手法を提案している[6][7]．Peng らは Frame-Based Two-Pass Clustering という手法で，フレームごとの動きをクラスタリングし，クラスタを繋ぎ合わせることでモーションを生成する手法を提案した[8]．実際のゲームのようにボタンやキーボードでキャラクタを操作することが可能である．モーショングラフはモーションキャプチャなどで作成したモーションを用いるため，用意すべきモーションの数が膨大になってしまう問題がある．

また，モーションブレンドによってモーションを生成する研究も存在する．Park らは歩く・立つ・走るといった動作を DTW やモーションリターゲッティングを用いて動的にブレンドしてモーションを生成する手法を提案している

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan

Vol.2014-HCI-157 No.78
Vol.2014-GN-91 No.78
Vol.2014-EC-31 No.78
2014/3/15

[9]. Wang らはモーションキャプチャで得たデータの補完に線形的なモーションブレンドを用いる手法を提案している[10].

これらはキャラクタ単体のモーション生成が中心で，複数キャラクタ間における複雑な場面でのモーション生成に関する考慮に欠ける．

2.3 複数キャラクタ間におけるモーション生成

1 対 1 の場面でのキャラクタの相互作用を考慮したモーション生成では，Shum らがターンベースフレームワークを利用したモーション生成方法を提案している[11]．また，別のアプローチでは Liu らは相互のキャラクタの空間時間を活用することでモーションを生成する手法を提案している[12]．Wampler らはマルコフモデルを用いた動的モーション生成方法を提案した．クイックステップやフェイントなども考慮に入れている[13]．しかし，これらの手法はキャラクタが自律しており，プレイヤの入力が考慮に入れられていない．

さらに，Levine らは滑らかにモーションを繋ぐ手法に加え，動く相手に対するモーション生成にも対応した手法を提案している[14]．ユーザからの入力に応じたモーションを対象に合わせて動的に変化させて生成させており，動く棒に対して動的にモーションを変化させて対応させることが出来る．モーションブレンドを用いており，用意するモーションが少なくて済むことも特徴である．しかし，体勢などの考慮が欠けている．空手のパンチやキックを生成しているが，空手らしい力の入ったモーションや，空手のパンチの型を考慮されているとは言えない．

2.4 動きの予測とメンタルモデル

本研究が提案する手法には，動きの予測を用いる．人間が物体の動きを予測する際は，物体の外見などの視覚情報から予測を行う．このとき，人間は物体の動きを特定の性質を持つ動きの連続として捉え，わずかな情報からも物体が取りうる可能な動きを予測することが出来るとされており[15]，この知見を参考にして本手法の検討をする．

また，Yeo らはキャラクタがボールをキャッチする際の目の注視の仕方やキャッチまでの体の移動を動的に生成する手法を提案している[16]．このとき，ボールをキャッチする位置の予測を行っており，ボールの位置，軌跡，速さの情報から推定を行って手の位置を変化させている．

3. 剣術におけるモーション生成

3.1 検証対象

モーション生成において，仮想空間上での場面では，どのようなモーション生成が実現可能となれば，上記の要件を満たすのか検討することは容易ではない．そこで，現実の剣術の試合を対象に絞りモーションの生成を行う．本研究では剣術の一つで日本の武道である剣道を題材にして実装を行う．剣道を選定した理由は以下の通りである．

- 試合のルールの存在

剣道は攻撃をする位置が面，突き，胴，小手とあらかじめ決められている．そのため，競技者は適当に竹刀を当てるのではなく，ルールで定められた位置を狙う必要がある．このルールによって，モーションの位置関係の整合性を保つ重要性が自明になる．また，剣道の試合では竹刀が有効打突部位に当たれば何でも良いわけではなく，一定の体勢で打突する必要がある．

- モーションの種類

多くのアクションゲームで剣を用いたモーションは使用されている．また，剣道は斬る，防御する，突くなどの基本的なモーションが一通り必要になるため，アクションゲームでの基本動作のようなモーションが必要になる．

3.2 キャラクタの認知アーキテクチャ

本システムにおけるゲームキャラクタの認知アーキテクチャを図 2 に示す．敵の位置情報を知覚し，短期記憶として保持する．短期記憶から敵の動きを予測し，入力された際の行動決定，モーション生成に利用する．

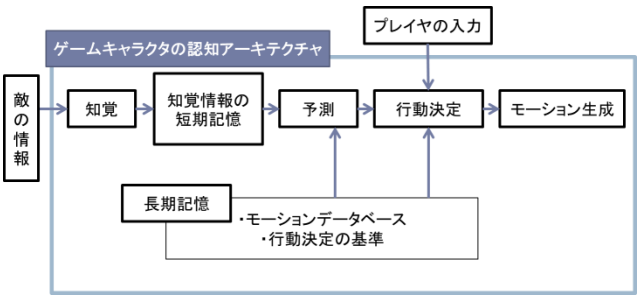


図 2　ゲームキャラクタの認知アーキテクチャ
Figure 2　Cognitive architecture of a game character

3.3 リアルタイム処理における時系列

リアルタイム処理での処理の時系列を図 3 に示す．色は一連の行動処理の流れを意味する．予測，行動決定，モーション生成においては，色が異なるものは別の行動として表している．知覚は行動とは関係なく，常に行うため固有の色で表している．

相手の位置情報に関する知覚は常に行う．位置情報は予測や行動決定，モーション生成に必要な情報となるため，行動決定や予測を行っているときも常に新しい情報に更新しておく．

プレイヤから入力があった際は，短期記憶に保存しておいた情報を元に敵の位置予測を行い，キャラクタが行動決定を行う．プレイヤからの入力と，予測に基づく敵の位置情報から最適な行動を決定する．

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan

Vol.2014-HCI-157 No.78
Vol.2014-GN-91 No.78
Vol.2014-EC-31 No.78
2014/3/15

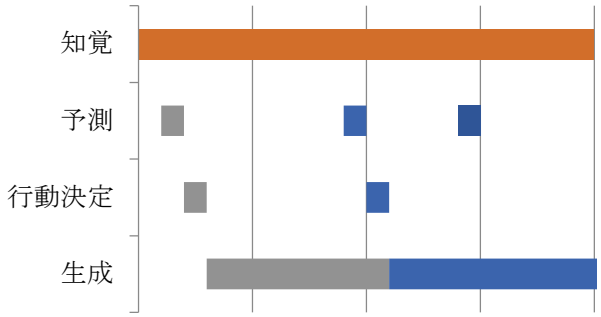


図 3　リアルタイム処理の時系列
Figure 3　Time series of real-time processing

3.4 予測

敵の位置情報を知覚し，連続的な位置の遷移から移動位置を推定する．予測をするために，敵の位置情報を毎フレーム取得し，知覚情報の短期記憶として保存をする．この際，短期記憶として保存しておくフレーム数をあらかじめ設定しておき，フレーム数を超えるデータは破棄をし，新しいデータに逐次更新を行う．

3.4.1 灰色理論による位置予測

2.4 節に述べたように，人間は物体の動きを特定の性質を持つ動きの連続として捉え，わずかな情報からも物体が取りうる可能な動きを予測することが出来る．これを考慮し，本研究では予測に用いる手法として，予測モデルの 1 つであり，数列予測や時系列データなどに応用されている理論である，灰色理論を用いる[17][18]．多量のデータが必要な確率･数理統計学での予測手法やファジィ理論と比べ，少ない連続的なデータ列から予測が可能で，パーティクルフィルタやカルマンフィルタのように，フレーム毎に計算を行う必要がないのが特徴である．

灰色理論に基づく敵の位置予測の計算を以下に示す．一階の微分方程式による計算を行う．用いるモデルはデータの更新・削除による GM(1,1)の新陳代謝型のモデルである．敵の位置情報を n フレーム保持しているとし，敵のフレーム毎の位置情報のデータ列を $X_{(i)}$，データ列 $X_{(i)}$の累積データ列 $Y_{(i)}$とし，(i-1)*2 行列 B，2*2 行列 C，データ列 Z を以下のように定義する．なお，データ列 $X_{(i)}$は i が大きくなるほど新しいデータで，$X_{(n)}$のときは最新の敵の位置情報を表す．

$$B(i,1) = -0.5 * \left(Y_{(i)} + Y_{(i+1)}\right), \quad B(i,2) = 1 \quad (1 < i < n) \tag{1}$$

$$C = (B^T * B)^{-1} \tag{2}$$

$$Z_{(i)} = X_{(i+1)} \quad (1 < i < n) \tag{3}$$

以上の変数から，1*2 行列 A を計算する．

$$A = C * B^T * Z \tag{4}$$

a=A(1,1)，u=A(2,1)とすると，累積データの予測値の列 $W_{(k)}$は以下のように計算出来る．

$$W_{(k+1)} = \left(X_{(1)} - u/a\right) * e^{(-a*k)} + u/a \tag{5}$$

以上の計算から，予測値は以下のようになる．

$$X_{(k+1)} = W_{(k+1)} - W_{(k)} \tag{6}$$

(6)の計算式によって，予測値を求める．例えば，面の打突をした際の予測は，面のモーションにかかる時間を T(秒)とすると，予測を行うときは T 秒後の敵の位置を予測することになる．

3.5 行動決定

プレイヤの入力と予測に基づいてキャラクタの行動決定を行う．面の打突を例に，位置情報の知覚と予測に基づく行動決定プロセスを図 4 に示す．

プレイヤから入力があった時，キャラクタはまず敵キャラクタの位置予測を行う．その予測された位置によってキャラクタは行動を変化させる．キャラクタの行動決定の基準や，距離の閾値はあらかじめ設定をしておく必要がある．図 4 において，予測された位置がかなり遠い，もしくは，かなり近いといったときは，その場で空振りをする．しかし，敵の予測位置が少し遠い，少し近いときや，その場で打てる距離は，システムが補正を行い，面を敵の頭に当てるような行動をキャラクタが行う．このように，キャラクタの行動決定の基準や閾値をあらかじめ設定しておくことで，キャラクタの行動を制御する．

補正を行うレベルは調整が可能となっている．行動決定の基準や補正を行うレベルを変化させることでゲーム性に応じた対応が可能である．例えば，初心者用にシステムを設計する場合，かなり遠いときや，かなり近いときでもシステムが補正を行い，面を打つように行動をとる設定をすることになる．一方，上級者向けに設計をした場合，補正を行う範囲を限定する．その場で打てるような場合のみシステムが補正を行うように設定することで，ゲームの難易度を上げることが可能となっている．

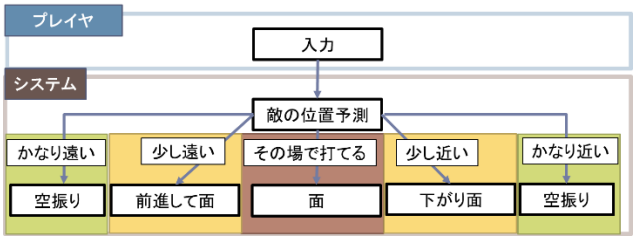


図 4 位置情報の知覚と予測に基づく行動決定プロセス
Figure 4　Action decision process based on the perception and anticipation of position information

3.6 モーション生成

行動決定で決められた行動を実際に生成する．このとき，相手との位置関係や現在の体勢を考慮し，動的にモーションを生成する必要がある．本研究ではモーションの動的ブレンドによってモーションの生成を行う．

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan

Vol.2014-HCI-157 No.78
Vol.2014-GN-91 No.78
Vol.2014-EC-31 No.78
2014/3/15

モーションブレンドによってモーション生成を行う利点は以下の通りである．

- 決められた型への対応

実装対象である剣道は，ただ有効打突部位に竹刀を当てれば良いのではなく，一定の型で打突する必要がある．モーションブレンドによって動作生成をすることで，型から逸脱したモーションの生成を防ぐ効果がある．

- 用意するモーションが比較的少ない

従来研究で良く用いられている手法であるモーショングラフによる生成では，事前にモーションを大量に用意する必要がある．それに比べてモーションブレンドによる生成は用意するモーションが少ない．

3.6.1 モーションブレンドにおける動的計算

1 つの行動に関して，n 種類のモーション m_1～m_n をあらかじめ用意をする．n は 1 以上の自然数で，その値は行動の種類によって異なる．例えば攻撃のモーションでも面と胴では用意すべきモーションの数は異なる．n 種類のモーションそれぞれに重み付けを行い，その総和によってモーションの生成を行う．重み付けのパラメータを t_1～t_n とおくと，実際に生成されるモーション M は(7)の式で表すことが出来る．

$$M = \sum_{k=1}^{n} t_k m_k \quad \left(\sum_{k=1}^{n} t_k = 1 \right) \tag{7}$$

3.6.2 モーション間の補完

モーションとモーションの間には空白が存在してしまうため，モーションブレンドを用いて補完する．

ある行動 A，B があるとする．もしも，行動 A から行動 B へ行動の遷移を行いたいときは，時間経過によってブレンドの割合を変化させることで，モーション間の空白を補完する．図 5 はモーション間の補完の様子をグラフ化したものであり，横軸は時間経過を表している．t_1~t_3間にモーションとモーションの遷移が行われる．このときの傾きや，t_1~t_3間の時間は調整が可能で，事前に設定をしておくことで滑らかにモーションを繋ぐ事が出来る．

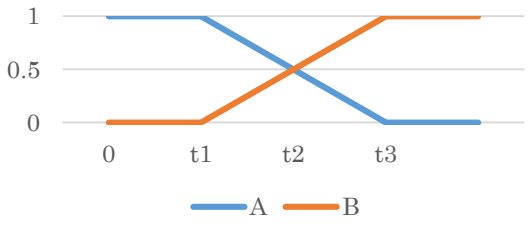


図 5 モーションブレンドのグラフイメージ
Figure 5　Graph image of motion blend

4. 評価実験

評価実験では，提案手法によるモーションの自動補正に関する評価を行い，プレイヤ視点での印象を検証した．被験者は大学生 9 名，うち 2 名が剣道経験を有する．

被験者に剣道で面を打つゲームを体験してもらう．敵は一定のスピードで操作キャラクタに近づくので，被験者はボタン入力で操作キャラクタに面を打たせ，敵の頭を狙ってもらう．操作キャラクタの竹刀は，有効打突となる部分を色分けして明示した．下記のように，自動補正した場合と，補正をしない場合の 2 つのパターンを体験してもらった．

1. モーションの補正をせず，一定のモーションのみを生成する場合
2. モーションの補正を動的に行い，タイミングに応じて有効な打突を生成する場合

表 1 のアンケートに表 2 の内容で 5 段階評価で回答してもらった．また，被験者には剣道経験の有無も質問し，さらに自由記述による気づきや感想も調査した．

表 1　評価実験のアンケート項目
Table 1　Questionnaire of evaluation experiment

Q1	正しい打突が行われていたと感じたか
Q2	状況に適したモーションだと感じたか
Q3	思い通りの打突が出来たか
Q4	キャラクタは知的に見えるか

表 2　評価実験の 5 段階評価内容
Table 2　Rankings according to the five grade

1	そう思わない
2	あまりそう思わない
3	どちらともいえない
4	ややそう思う
5	そう思う

4.1 実験結果

質問による調査結果から各質問における評定尺度と標準偏差を算出したグラフを図 6 に示す．グラフ上の記号は有意水準を示しており，*は p<0.05, **は p<0.01, ***は p<0.001 を表す．Q1 に関しては，有意水準 5%（$t(8) = 3.162$, $p = .05$），Q2 に関しては，有意水準 1%（$t(8) = 3.776$, $p = .01$），Q3 に関しては，有意水準 1%（$t(8) = 3.833$, $p = .01$），Q4 に関しては，有意水準 0.1%（$t = 5.376$, $p = .001$）でそれぞれ有意差が見られた．

4.2 考察

Q1,Q2 より，敵との距離に合わせて位置関係の整合性を保ち，正しい体勢で打突出来ていたと感じられたことが示

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan

Vol.2014-HCI-157 No.78
Vol.2014-GN-91 No.78
Vol.2014-EC-31 No.78
2014/3/15

されている．しかし，剣道経験者の 1 名は，下がり面を打つときに鍔迫り合いや体当たりを考慮していないという理由で Q2 の評価が 2 であった．これは被験者が事前に持つ知識の差が評価の差に繋がったと考えられる．

Q3 より，補正を行った方がプレイヤの思い通りに動くと感じる事が示され，プレイヤにとって好印象を与えたと考えられる．

Q4 より，動的に補正をした方が，キャラクタから知性を感じられることが示された．これは Q1,Q2 の評価が高く，キャラクタが状況に適して行動をしていたと感じられたことが要因と考えられる．また，これもプレイヤにとって好印象を与えたと考えられる．

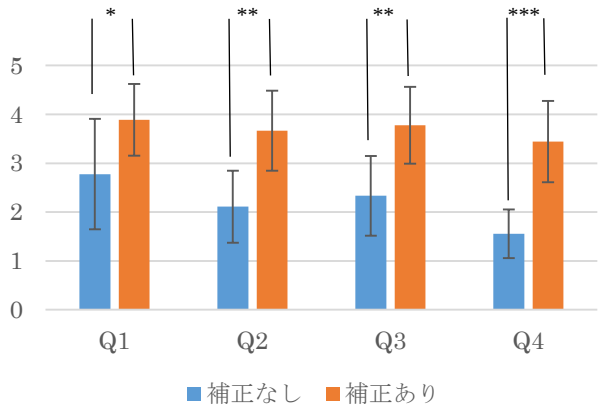


図 6　評価実験の結果

Figure 6　Result of evaluation experiment

5. 終わりに

本稿では，プレイヤの入力を考慮した上で状況に適したモーションを生成する手法について提案をした．

本手法では，プレイヤの入力を考慮し，モーションの生成に予測を用いることでキャラクタの体勢を崩さずに，かつキャラクタ間の位置関係の整合性を保つ生成法を構築した．評価実験では，プレイヤ視点で本手法を用いてモーションを生成することの効果が実証された．

今後の課題としては，相互に攻防を行う場合のように，より複雑な状況への適応が挙げられる．特に剣道では攻撃方法が面，胴，小手，突きがあり，戦術によってこれらを組み合わせることの考慮が必要になる．これらの課題を考慮した上で，生成法のさらなる改善を進めたいと考えている．

謝辞

本稿の執筆にご協力いただいた筑波大学エンタテインメントコンピューティング研究室の皆様に謹んで感謝の意を表します．

参考文献

1) NaturalMotion: Euphoria, NaturalMotion(online), available from 〈http://www.naturalmotion.com/products/euphoria/〉(accessed 2014-02-15)
2) Faloutsos, P. , Panne, M.V.D. and Terzopoulos, D.: Composable Controllers for Physics-Based Character Animation, Proc. 28th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, pp.251–260(2001)
3) Yin, K., Coros, S., Beaudoin, P. and Panne, M.V.D.: Continuation Methods for Adapting Simulated Skills, ACM Transactions on Graphics, Vol.27, Issue 3, Article No.81(2008)
4) Mordatch, I., Lasa, M.D. and Hertzmann, A.: Robust Physics-Based Locomotion Using Low-Dimensional Planning, ACM Transactions on Graphics, Vol.29, Issue 4, Article No. 71(2010)
5) Levine, S. and Popović, J.: Physically Plausible Simulation for Character Animation, Proc. ACM SIGGRAPH/Eurographics Symposium on Computer Animation, pp.221-230(2012)
6) Kovar, L., Gleicher, M. and Pighin, F.: Motion Graphs, ACM Transactions on Graphics, Vol.21, Issue 3, pp.473-482(2002)
7) Heck, R. and Gleicher, M.: Parametric Motion Graphs, Proc. 2007 symposium on Interactive 3D graphics and games, pp.129-136(2007)
8) Peng, J.Y., Lin, I.C., Chao, J.H., Chen, Y.J. and Juang, G.H. : Interactive and flexible motion transition, Computer Animation and Virtual Worlds, Vol.18, Issue 4-5, pp.549-558(2007)
9) Park, S.I., Kim, T.H. and Shin, H.J.: On-line motion blending for real-time locomotion generation, Computer. Animated. Virtual Worlds, Vol.15, pp.125-138(2004)
10) Wang, J. and Bodenheimer, B.: Computing the Duration of Motion Transitions: An Empirical Approach, Proc. 2004 ACM SIGGRAPH/Eurographics symposium on Computer animation, pp.335-344(2004)
11) Shum, H.P.H., Komura, T., Shiraishi, M. and Yamazaki, S.: Interaction Patches for Multi-Character Animation, ACM Transactions on Graphics, Vol.27, Issue 5, Article No. 114(2008)
12) Liu, C.K., Hertzmann, A. and Popović, Z.: Composition of Complex Optimal Multi-Character Motions, Proc. 2006 ACM SIGGRAPH/Eurographics symposium on Computer animation, pp.215-222(2006)
13) Wampler, K., Andersen, E., Herbst, E., Lee, Y. and Popović, Z. : Character Animation in Two-Player Adnversarial Games, ACM Transactions on Graphics, Vol.29,Issue 3, Article No. 26 (2010)
14) Levine, S., Wang, J.M., Haraux, A., Popović, Z. and Koltun, V.: Continuous Character Control with Low-Dimensional Embeddings, ACM Transactions on Graphics, Vol.31, Issue 4, Article No. 28(2012)
15) Forbus, K.D.: Qualitative Reasoning About Space and Motion, Mental Models, pp.53-73(1983)
16) Yeo, S.H., Lesmana, Neog, D.R. and Pai, D.K.: Eyecatch: Simulating Visuomotor Coordination for Object Interception, ACM Transactions on Graphics, Vol.31, Issue 4, Article No. 42(2012)
17) トウ聚龍．趙君明(訳)，北岡正敏(訳)：灰色理論による予測と意志決定，日本理工出版会(1999)
18) 臼井潤，北岡正敏：灰色理論の GM(1,1)モデルのパラメーター特性と時系列データ期間圧縮に関する研究，数日本経営工学会論文誌 52(5), p291-302(2001)

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan