

動力学モデルによるキャラクタアニメーション用 動作生成システム (MODAN) の構築

角 文雄 中嶋 正之

東京工業大学 大学院 情報理工学研究所 〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1

E-mail : {sumi, nakajima}@img.cs.titech.ac.jp

あらまし キャラクタアニメーションの制作に於いては、登場するキャラクタの動きは、重要な演出上の要素である。アニメータは、ある特定の意図した動きを、キャラクタに振り付ける必要がある。しかしこの作業は、アニメータの経験、ノウハウ、技能に大きく依存すると共に時間を要する。本論文では、キャラクタへのポーズ付け作業を、一回の操作で簡単に行える新しいインターフェイスについて提案する。操作する関節と関連する関節が、同時に動いてポーズが決定できるように、運動力学計算を操作と同時並行に実施することで実現している。さらに、決定されたキーフレーム間の補間と力学的最適化を、順運動力学計算と逆運動力学計算を連続的に実施して、動きを生成する方法について提案する。この時、より滑らかで自然な動きとなるように緩和係数を導入する。また、干渉チェックを高速に実施する方法についても提案する。

キーワード アニメーション, 動作生成, 運動力学

A Motion Generation System, MODAN, Based on Motion Dynamics Model for Character Animation

Fumio SUMI and Masayuki NAKAJIMA

Graduate School of Information Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology

12-1 Ookayama 2-chome, Meguro-ku, Tokyo, 152-8552 Japan

E-mail : fsumi, nakajimag@img.cs.titech.ac.jp

Abstract This is new software for the editing and generating motion of human characters, which provides a useful and comprehensible environment for animators. We propose a new interface method for handling the whole body of a human character. This allows a user to drag a link an arbitrary position with any number of links pinned in a global frame and to be able to adjust motion of characters as a real-time operation, which can correct poses during playback. Inverse and forward kinematics is used for generating and optimizing motion. To make motion smooth, a relaxation parameter is introduced in motion dynamics calculation. A high speed collision detection algorithm is also proposed. Using this technique, it is very easy to make many series of derivative motions.

Key words Motion Generator, Animation, Motion Dynamics

1 はじめに

CGアニメーション制作、特にキャラクタアニメーション制作においては、キャラクタの動きの演出が重要である。自動的に動きを生成すればよいのではなく、アニメータの意図した動きを作り出さなくてはならない。この作業は、アニメータがキャラクタのそれぞれの動きを、演出に合わせて一つひとつ入力する方法で行なっている。このた

めその出来ばえは、アニメータの感性、経験、ノウハウといった力量に大きく依存する。また、多大な時間と手間を要するのが実態である。

このようなアニメータの作業をサポートして、効率的にアニメーション制作が行なえるツールが求められており、これまでに様々なツールが提供されてきている。市販のCGツールを用いてキャラクタアニメーションを作成する場合、一般的に動きのデータは、

- (1) 力学シミュレーション
- (2) モーションキャプチャ
- (3) アニメータの手作業

によって作成される．何れの方法でも，まだ以下のような問題がある．

- (i) 複雑なポーズ作成や動作生成に時間がかかる．
- (ii) 動作データの再利用が困難である．
- (iii) 動作をより自然に見せるためには，膨大なノウハウの蓄積が必要である．
- (iv) 直感的なインターフェイスを持つツールが少ない．

これらの問題を解決して，より効率的にアニメーション制作が行なえるような支援ツールが望まれている．本論文では，上記3方法((1),(2),(3))による動きのデータを有機的に結合して扱え，かつアニメータの望む演出の動きを作り出せるシステム (MODAN: MOtion generation system based on motion Dynamics model for character Animation) を実現した．

2 関連研究

アニメーションに関する研究は，これまで数多く行なわれてきている．特にヒューマンアニメーションの分野では，ロボット工学における力学および運動学に基づく動作制御の研究成果が，CGアニメーションの動きの生成に利用されてきている [1], [2]．キャラクタアニメーションでは，自動的に生成された動きではなく，アニメータが意図したポーズに基づく動きが求められるため，キーフレーム法が広く用いられてきた．このキーフレーム間を補間して動きを生成するために，各種の力学的，動力学的方法が提案されてきた [3, 4, 5, 6]．また，人間全体の動きを扱う研究やシステムも提案されている [7], [8]．しかし，いずれの方法もキャラクタにポーズをつけるためには，複雑な操作を必要とする．アニメータの求めるポーズと動きを保持しつつ，キーフレーム間を自然な動きとして補間して動作生成を行なうことが最大の課題である．本論文で提案するMODANシステムは，少ない操作でポーズ付けができ，滑らかな動きのアニメーションを実現した．

3 力学モデルによる動作生成システム

3.1 システム機能構成

MODANシステムの機能構成は，図1に示す通り，9つの機能を有している．このシステムを中心機能は，図中(4)の「動作エディタ」と(5)の「属性エディタ」，および

図中(8)の「動作ジェネレータ」と(9)の「干渉マネージャ」である．動作エディタと属性エディタにより，キャラクタにポーズ付けを行ない，動作ジェネレータと干渉マネージャにより，動きの生成を行う．属性エディタは，リンク体のリンクや関節の力学パラメータや，動作環境パラメータなどの属性値の設定や変更を行うための機能である．

図中(1)の「入出力マネージャ」は，ユーザが入力操作を行ったり，システムから結果を出力するためのインターフェイス機能である．図中(2)の「DBマネージャ」は，MODANシステムが扱うデータの保管管理を行なう．図中(3)の「ビジュアライザ」は，キャラクタへのポーズ付けや生成した動きを表示する機能である．また，図中(6)の「人型リンク体構造作成ツール」および(7)の「構造体整合性チェッカ」は，人間型キャラクタの関節構造の作成と関節の可動角，リンク長，質量などのデータ作成のための機能である．なお，図中の線は各機能間の制御の関連を示している．例えば，(8)動作ジェネレータと，(2)DBマネージャ，(3)ビジュアライザ，(6)人型リンク体構造作成ツールおよび(9)干渉マネージャ間の線は，動作ジェネレータによる動作生成時に，DBマネージャによって人型リンク体構造データを，作成ツールを経て処理して，干渉を加味して動作データを作成して，ビジュアライザによって表示する処理の流れの制御を示している．

3.2 力学モデルによる動作データの統一

人間の動きを力学的に扱うことは，人間型ロボット制御で一般によく行われている．手法としては，一般に再帰的動力学アルゴリズム [10] を使用している．このアルゴリズムを，キーフレームアニメーションに応用する場合，キーフレームの動作データは，位置と姿勢のデータであり，運動方程式を解くために必要な質量や速度データがないため，そのままでは動力学計算には利用できない．そこで人間の力学モデル [11] をリンク体の形で表現して，

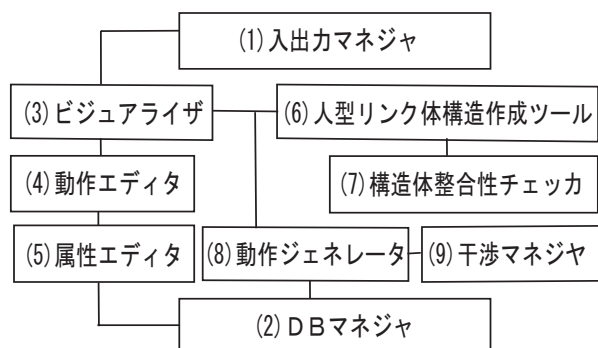


図1: MODANシステムの機能関連

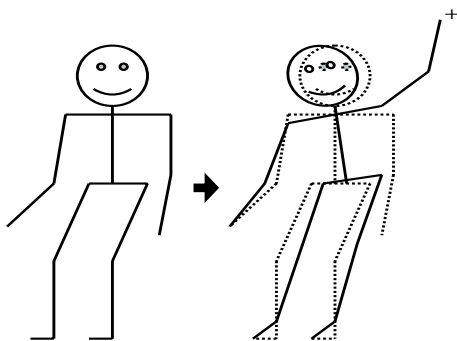


図 2: 簡単なポーズ付けのインターフェイス

キーフレームの動作データを，リンク体に関する位置・速度・加速度・力といった力学的時系列データに変換する．この変換は，差分により近似的に速度・加速度を求め，力は，最大トルクなどにより修正して求める．人間の力学的構造体データは，図 1 の (6) に示す「人型リンク体構造作成ツール」，および図 1 の (7) に示す「リンク体整合性チェック」により作成変換する．

3.3 単純化したポーズ作成

市販のツールによるポーズ付けでは，関連するリンクについて複数回の操作が必要である．アニメータの作業効率を高めるためには，できるだけ少ない操作回数で，キャラクタ全身のポーズが決定できることが望ましい．本論文では，1 回の操作で任意のリンクが指定した位置になるように指定した関節を固定して，関連する関節の動きを計算してキャラクタ全身の関節が同時に動いて，ポーズを動的に決定できるような新たなインターフェイスを開発した．

図 2 に簡略化したインターフェイスの概念を示す．すなわち，体のいくつかのリンクを空間中に固定したまま，別のリンクをアニメータの指示通り，動かすもので，図中左の初期位置から図中右側に示す様に，手の一部をユーザが所定の位置へ，ピック&ムーブすることによりポーズが決定できる．この手の移動に関連する関節の動きは，連動して移動する．図の表現は操作イメージを簡単に示すために 2 次元表示としているが，実際のシステムでは，回転，拡大，縮小等の操作により 3 次元空間で，キャラクタにポーズ付けが簡単に行なえる．

ポーズ決定時に考慮される条件は，次の 3 つである．

- (1) 指定されたリンクの固定．
- (2) 関節角が可動範囲を超えない．
- (3) 関節角が与えられた目標値に追従する．

これらの条件は，お互いに干渉しあう場合があり，計算法によっては解が得られなかったり発散することがある．

このため本論文では，ロボット制御で用いられるヤコビアン行列と特異点低感度運動分解行列 (Singularity-Robust Inverse) [9],[12],[13] を利用して，仮想リンクによる拘束表現と特異点の影響が少ない逆運動力学計算をもとにして，キャラクタを理想状態に向かって制御することにより，任意の機構・条件に対して安定なポーズ決定が可能な数値解法を施している．この方法では，運動学的拘束のもと運動するリンク体の運動方程式 [14] を用いて，各条件のオン・オフや重要度の設定を関節ごとに行なうことができるため，矛盾する条件が課せられても重要度に応じて自動的に実現度合いを調整し，常に安定な解が得られる．すなわち，関節値に対して重み付けをして，重みの変化に応じて関節の動きやすさを自動的に調整する．同様にトルクに対しても調整する．例えば，ある関節に対する重みを大きくすると，その関節の速度は小さくなり，比較的動きにくくなる．ポーズ作成は，図 1 の (4) に示す「動作エディタ」，および図 1 の (5) に示す「属性エディタ」により行なう．ここで動作エディタでは，キャラクタのポーズ付けの作業を行なうことにより，姿勢と位置のデータを作成し，属性エディタでは，リンクの構造，長さ，質量などに値を与える作業を実施する．

3.4 力学的最適化による動作生成

3.4.1 補間と最適化

一般に，アニメータによる手作業での動作作成では，動作全体を決定づけるポーズを描いたキーフレームを作成し，次に補間によって動画を作り出す，いわゆるキーフレームアニメーションの方法がとられる．キーフレームアニメーションの補間では，スプライン曲線等の関数を適用することが一般的である．しかし，より自然でなめらかな動きとするためには，動力学計算による補間を行なう方法が採用されている．本論文では，この補間による動作をさらに，順動力学計算と逆動力学計算 [15]，[16] を連続的に実施して，より自然な動きが生成されるように最適化する手法を開発した．この手法は，以下の特徴を持っている．

- (1) 任意のモデル・運動に適用できる．
- (2) 参照運動をリアルタイムで生成できる．
- (3) 厳密な動力学計算を実施している．

3.4.2 補間と最適化の手順

補間と最適化の手順は，次のように行なう．まず，動作の補間は線形補間により，幾何学的および力学的に行なう．幾何学的補間では，キーフレームの動作データである

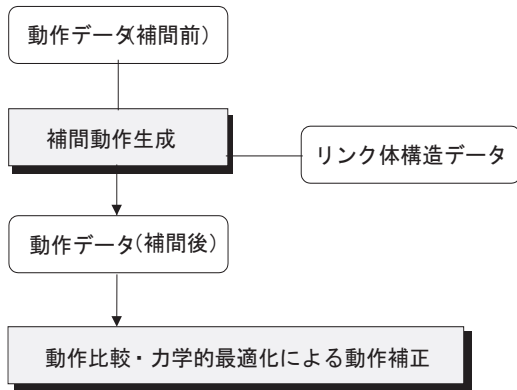


図3: 動作の補間と最適化の手順

位置、姿勢マトリックスを時間軸上に配置し、各動作間に生じる時間的空白部分には、新たな動作をその時間における両キーフレーム間のポーズ位置を、距離に従って補間生成する。力学的補間では、幾何学的補間機能によって補間された動作データとリンク体構造データに基づき、リンク体関節値を計算し、さらにリンク体絶対位置姿勢を計算する。

次に、補間動作生成で生成された動作データを力学的最適化により補正する。補間動作生成で生成された時系列の動作データは、力学的考慮がされていないため力学的に矛盾している。このデータを力学的に矛盾のないように力学的最適化法を用いて補正し、新たな動作を生成する。補間による動作データ生成から最適化による補正までの手順を、図3に示す。

3.4.3 運動方程式

力学的最適化を行なうときのリンク体の運動方程式は、一般的に下記の式で表される。

$$\tau = A(q)\ddot{q} + b(q, \dot{q}) \quad (1)$$

ここで、 τ : 入力一般化力 (トルクなど)

q : リンク体の状態を表す一般化座標

$A(\cdot)$: 慣性行列

$b(\cdot)$: 速度による力、重力など

動力学による動作生成では、逆動力学計算のみか、順動力学計算のみで行なうことが一般的であるが、よりなめらかな動きを生成するために、本論文では逆動力学計算と順動力学計算を、連続して以下の手順で行い、さらに緩和係数 k ($0 < k < 1$) を導入して修正量を調整している。

(1) 補間動作生成により補間された力学的時系列動作データと、リンク体構造データ、動作補正実行環境データを用い、時間ごとのリンク体の初期トルクを算出する。続いて、

現在の位置・速度・姿勢・加速度等と、速度・加速度・角速度・角加速度等の微係数から逆動力学計算を用いて関節トルク・地面等から受ける反力を修正する。修正する際に、完全に動力学方程式を満たすようにすると力学的には満足するが、無理な力を想定する結果となる。そこで無理な力を生じさせないように修正率として、緩和係数をかけて修正量を調整する。ここで、動作補正実行環境データとは、環境の動摩擦係数、静摩擦係数、重力、緩和係数などである。

(2) 上記 (1) で修正された力・位置・速度から順動力学を用いて、次式により加速度を求め、上記同様に緩和係数により修正する。

$$\ddot{q} = kA^{-1}(q)(\tau - b(q, \dot{q})) \quad (2)$$

(3) 上記 (2) で求めた加速度を、積分して速度を修正する。さらに、この速度を積分して位置を修正する。修正量は、上記同様緩和係数により調整する。

(4) 緩和係数をかける前の修正量の二乗和がある小さい値 (ϵ) 以下になるまで、上記 (1)~(3) を繰り返す。ただし、(3) に関しては、速度、位置に固定値を許す。そのため、積分の範囲は状況により異なる。

補間・最適化により、動作の修正がキーフレームの動作にも及ぶ場合、キーフレームを維持するか、修正されたフレームをキーフレームと入替えるかを、アニメータが選択できるようなシステムとした。

補間・最適化の実施例を、図4に示す。この例は、人間型キャラクタが図中左から右へ、連続後方回転をするアニメーションである。最適化と緩和係数の効果は、フレーム間での動きが激しい場合に効果を発揮している。キャラクタの手足は高速に動作しており、各コマ間の動きが滑らかに連続できた。さらに一コマ中もモーションブレンダー処理 [20] を施しているため画像がブレて見えている。

4 干渉チェック

4.1 概要

運動をしているリンク体が他のリンク体と衝突した場合、衝突によって生じる力の影響により、その後の運動に変化が生じる。この衝突のチェックを干渉チェックと呼び、図1の(9)「干渉マネジャ」により行なう。

干渉マネジャは、単位時間ごとのリンク体間の距離を監視し、その距離がある微小な値より小さくなった場合、リンク体が衝突したと判定する。衝突が起きたリンク体に対しては、衝突時の力とそれによる運動の変化を計算し、運



図 4: 補間最適化による動作生成の例 (左から右へ順に移動)

動解析へ反映させる。

干渉チェックの前処理として、リンク体の形状データおよび動作データから干渉チェック用の形状データを生成し、このデータを用いて干渉判定を行う。リンク体間の干渉では、上記リンク体間の距離が複数箇所で閾値以下の場合に、複数の干渉点があることになる。これらすべての干渉点を検知している。各干渉点での干渉チェックの判定方法は同一処理であるので、以降の説明では特定の干渉点でのアルゴリズムに限定して述べる。

4.2 凸物体干渉チェック

凸物体とは、物体上の任意の2点を結ぶ線分が常に物体内部に含まれる物体をいう。凸物体同士の干渉チェックは、非凸物体を含む物体同士の干渉チェックと比較し、単純化が可能であり、高速に干渉チェックを行なえる。このため、リンク体間の距離計算を、凸物体同士の干渉チェックと非凸物体を含む物体間の干渉チェックとに分けて、それぞれ高速に干渉チェックを行なえるアルゴリズムを切り替えて適用する方法を施した。凸物体同士の干渉チェックアルゴリズムには、Gilbert 法 [17], [18] を、非凸物体を含む物体間の干渉チェックアルゴリズムには、Bubble Collision 法 [19] を適用した。

4.3 非凸物体干渉チェック

非凸物体の干渉チェックを、凸物体用アルゴリズムで高速処理できるように、物体を球の階層で近似表現（以降、階層球データと呼ぶ）して、非凸物体干渉チェック用データとした。この階層球データを用いて、干渉チェックを実行する。図 5 に階層球データ構造を示す。

階層球データは、物体を構成する各ポリゴンを、ポリゴ

ン上に中心を持つ複数の球の組み合わせで覆い、それらの球を包含する球を階層的に表現したデータ構造である。非凸物体干渉チェックでは、球間のチェックを階層的に行なう。これにより、最も接近したポリゴンの組み合わせを、高速に探索する。また、Bubble Collision 法では、探索したポリゴンの組み合わせに Gilbert 法を適用し、物体間の最近点と距離を計算する。以上により、非凸物体に対する干渉チェックを行なう。

5 動作生成の効率化に関する実験結果

キャラクターアニメーションの制作が、MODANシステムにより、効率的に行なえるかを検証するために、市販

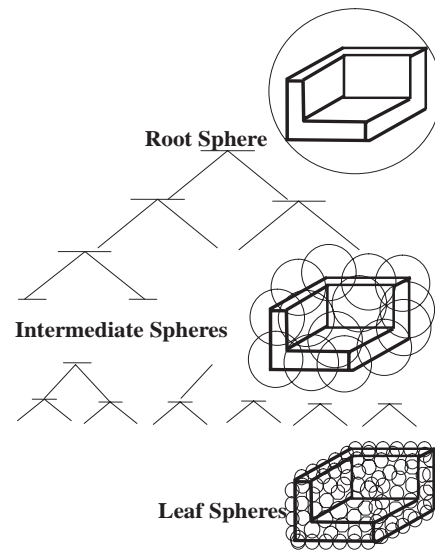


図 5: 階層球データ構造

のツールを使用した場合との作業効率を比較した。作業は、プロフェッショナル・アニメータ1名とアシスタント2名により実施した。対象とした市販ツールは、キャラクターアニメーション制作において広く使用されているSoftimage3Dとした。評価する項目としては、多様な動作作成のに関して意図する動作の完成までに要した工程について、キーフレーム数、操作した部位（キャラクターの部品：肘、膝など）の数について比較した。

5.1 受動動作の作成

まず、キャラクター受動動作として単純な「歩行から転ぶ」、「椅子から立上がる」動作の作成についてキーフレーム数および操作工程数を検討した。その結果を、表1-(a)、(b)に示す。ここで、操作工程数とは、一連の動作を作成する上でのひとまとまりの作業を示している。例えば、歩行における体全体の上下運動の作成を、一つの工程とすると、この工程中では、左足を固定、動かす部位を指定といった一連の作業手順により、一つの動作が作成される。

この作業は、生成する動作によって操作工程数に差はあるものの、キーフレーム数、操作部位数は、個々のポーズ作成が中心であるため、MODANシステムの特徴が生かされず、あまり大きな差は生じていない。

5.2 動作の再利用

次に、既に作成済みの動作を大きさの異なるキャラクターに適用したり、動作を誇張するなどの改変を加える場合について、改変したリンク数を検討した。

表1-(c)は、形状・構造別データ改変の場合で、「歩行動作データ」を既存キャラクターの2~3倍の大きなキャラクターと、1/2~1/3の小さなキャラクターに適用し、自然に見るように改変した結果を示している。

表1-(d)は、誇張によるデータ改変の場合で、「歩行動作データ」を「威張って歩く」と「しょんぼり歩く」の2つの誇張動作に改変した結果を示している。表情によって操作する部位が異なれば改変するリンク数も異なるが、同じ部位の操作で操作量の違いにより誇張した表情が表せる場合は、改変するリンク数は同じとなる。実験では、同じ部位の変化量を変えることで誇張表現が作成できたため、結果的に改変リンク数は同じとなった。市販ソフトでは、操作する部位と関連する部位を併せて操作する必要があるため改変リンク数がMODANシステムに比べて多く必要であった。

以上の結果から、これらの作業ではMODANシステム

表1: 動作の生成と変更

(a) 「歩行している人が転ぶ」動作

	Softimage3D	MODAN システム
キーフレーム数	63	50
操作工程数	313	74

(b) 「椅子から立上がる」動作

	Softimage3D	MODAN システム
操作部位数	33	24

(c) 大きさの異なるキャラクターへの適用

改変リンク数	Softimage3D	MODAN システム
大への適用	26	10
小への適用	26	10

(d) 動作の誇張

改変リンク数	Softimage3D	MODAN システム
威張って歩く	40	10
しょんぼり歩く	40	10

の方が、2~3倍作業効率が良いことが確認できた。これはSoftimage3Dでは、次の理由によるものと考えられる。

- (i) 新規動作作成と等しい作業が必要であること。
- (ii) オペレーション作業中は、逆動力学が使えないため、順動力学を使用せざるを得ない。

5.3 基本動作の共通化と動きの完成度

MODANシステムでは、ポーズ付け作業のとき、リンク体に与えられた属性値（曲がりにくさ・曲がる限界値など）により操作性が大きく左右される。そこで人型リンク体の基本的な動作について、指定した動作に辿り着き易い属性値を各リンクに設定して、最も効率的となるように属性値を共通化して動きの完成度を高めた。これにより同じ作業工数でも、少ない時間で効率的に完成度の高いアニメーションを作成できるようになった。

実験では、実装されているパラメータを数値のみで指定して変更するのでは、アニメータにはどの値が標準的数値であるか決定できなかった。そこでMODANシステムとしては、属性値の適正値を予め用意し、属性値作成を自動に行なえるようにした。また、人型リンク体（40, 48, 54の3種類の自由度）についても、アニメータが選択可能なようにモデリングしてライブラリ化することとした。

5.4 リアルタイム編集機能の効率測定

市販のツールでは提供されていない本システムの特徴機能として「リアルタイム編集機能による動作生成」がある。ここでリアルタイム編集とは、作成済みのアニメー

表 2: リアルタイム作業効率

	操作リンク数	操作時間
体全体の上下運動	4	45 秒
足の運び	6	30 秒
腕の振り	6	30 秒
全体の微調整	4	20 秒
キーフレームで修正	28	8 分
総 計	48	10 分 5 秒

表 3: 作業工程と作業時間の比較

	SoftImage3D	MODAN システム
操作工程数	79	8
所要作業時間	17 分 0 秒	40 秒

ションが実行中で、キャラクターが動いているときに同時にそのキャラクターに対して動作の追加・変更等を実施する処理機能を意味している。この処理では、動作の編集作業中に、追加・変更動作に伴う動力学計算を並行して実施している。

作業手順は、必要な各動作を生成する手順を策定し、一つの動作を 3.3 で述べたポーズ付けのインターフェイスを用いてポーズ作成をして、その部位を動かしてその動作をリアルタイムに録画保存する。次に上記手順に従って一連の動作を作成していく。

実験ではまず、リアルタイム編集機能による動作生成の作業効率を測定した。作業は新たに「歩行動作」を生成することとし、作業に要した作業工程と操作リンク数および操作時間を測定した。その結果を、表 2 に示す。

次に、「歩行中のキャラクターの頭に衝撃を加える動作の追加作成」について、市販ソフトによる作業との比較を実施した。この機能を持たない市販ソフトでは、個別の編集作業をバッチ処理により繰返し実施して、所要の動作を作成する方法を採用した。ここでバッチ処理とは、キャラクターを動かしながらではなく、別のプロセスで別個に基になる動作に新たな動作を追加・変更した後に、動力学計算を施して新たな動作を作成後、一連の動きを再生確認する作業方法をいう。その結果を表 3 に示す。キャラクターの頭に「衝撃を加える動作」は、単に頭の動きを設定するだけ出は表現できず、加えられる外力に応じて関連する体の他の部分の動きを併せて設定する必要がある。MODAN システムでは外力が加えられた部位と関連する部位の動きを、動力学計算により同時に自動調整できるのに比べ、市販ソフトでは総ての動作について個別にリンクを操作して

動きを付けなければならない。表 3 の結果はこの違いを示している。

この結果から、MODAN システムのリアルタイム機能は、「作成」のほか、さらに「編集」に大きな効果があるといえる。

以上の結果から、MODAN システムの動作エディタにより、アニメータが意図するキャラクターの動きを効率的に生成できることが実証できた。

5.5 最適化処理および干渉チェック処理の結果

前節までの実験による効率測定は、ポーズ作成を中心としたアニメーション作成に関する評価であった。構築した MODAN システムの他の主要機能である「最適化処理」や「干渉チェック」の結果は以下の通りであった。

(1) 最適化処理の時間と生成された動作の質

MODAN システムでは、3.3 で述べたインターフェイスで作成された複数のキーフレーム間に、3.4 で述べた補間と最適化処理により、中間フレームを生成し力学的最適化を施して、最終のアニメーションを作成する。最適化処理は、アニメータが判断して、十分滑らかで求める動きとなるまで繰返し実施する。一回の最適化処理に要する時間は、キーフレーム数と生成される中間フレーム数に依存するが、全体で 30 フレーム程度であれば、Intel の Pentium 3 (600Mhz) 搭載の PC で 1 秒程度で処理できる。求める滑らかさになるまでに多くても 10 回程度の最適化を繰返すことで完成できるので、対話型処理として十分に耐え得る時間である。生成されたアニメーションの質の評価は、アニメータに依存する。MODAN システムでの生成結果は図 4 に示す通りであり、満足できる質のアニメーションが生成できている。

(2) 干渉チェック処理の結果

干渉点は確実に検出され、処理時間も数秒であり、高速化手法による効果で対話型処理でも十分耐え得る結果であった。また、衝突によって生じた動きの生成も動力学計算により現実感のある動作が生成できた。

6 おわりに

本論文では、簡単な操作でキャラクターにポーズ付けが行なえ、動力学モデルによる動作補間と最適化による動作生成システムについて提案した。その結果以下の事がいえる。

- (i) 経験豊富なプロのアニメータが頭の中に描いたポーズを、画面に早く実現できる。

- (ii) 経験の少ないアニメータには、自動的に動きが生成されるので、簡単にアニメーション制作ができる。
- (iii) リアルタイム編集機能は、熟練・未熟練に関係なく有効である。

最後に、MODANシステムにより、新規のキャラクターアニメーションを効率よく制作できることが期待される。今後は、更なる効率化や一旦作成された動作データの再利用への適用、アニメーション制作の自動化へと展開していきたい。

参考文献

- [1] A.Bruderlin, T.W.Calvert, "Goal-Directed, Dynamic Animation of Human Walking", Computer Graphics Vol.23, No.3, 1989
- [2] M.H.Raibert, J.K.Hodgins, "Animation of Dynamic Legged Locomotion", Computer Graphics Vol.25, No.4, 1991
- [3] P.Issacs, M.F.Choen, "Controlling Dynamic Simulation with Kinematic Constrains", Siggraph87, pp215-224, 1987
- [4] A.Witkin, M.Kass, "Spacetime Constraints", Siggraph88, pp159-168, 1988
- [5] M.F.Choen, "Interactive Spacetime Control for Animation", Siggraph92, pp293-302, 1991
- [6] A.Watt, M.Watt, "Advanced Animation and Rendering Techniques", Addison-Wesley, New York, 1992
- [7] B.M.Blumberg, T.A.Galyean, "Multi-Level Direction of Autonomous Creatures for Real Time Virtual Environments", Computer Graphics Vol.30, No.3, pp47-54, 1995
- [8] K.Perlin, A.Goldberg, "Improv: A System for Scripting Interactive Actors in Virtual Worlds", Siggraph96, pp205-216, 1996
- [9] 中村仁彦, 花房秀郎, "関節形ロボットアームの特異点低感度運動分解", 計測自動制御学会論文集, Vol.20, No.5, pp453~459, 1984
- [10] F.Nagashima, Y.Nakamura, "Efficient computer scheme for the kinematics and inverse dynamics of a satellite-based manipulator" Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp905-911, 1992
- [11] 永嶋史郎, 中村仁彦, 恒川隆, "人間/生物を含むモーションコンテンツ制作支援環境の開発", 創造的ソフトウェア育成事業およびエレクトロニクスコマース推進事業に係る最終成果発表, pp569-576, 1998
- [12] Y.Nakamura, H.Hanafusa, "Inverse kinematics Solutions with Singularity Robustness for Robot Manipulator Control" Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, Vol.108, pp163-171, 1986
- [13] 中村仁彦, 山根克, 永嶋史郎, "構造変化を伴うリンク系の動力学計算法とヒューマンフィギュアの運動計算", 日本ロボット学会誌 Vol.16, No.8, pp124-131, 1998
- [14] 中村仁彦, 山根克, "拘束条件が不連続に変化するリンク系の動力学", 日本ロボット学会誌, Vol.18, No.3, pp127-135, 2000
- [15] 角文雄, 永嶋史郎, 中嶋正之, "力学的最適化による人間動作の生成補正技法", 情報処理学会第62回全国大会, 8V-6, 2001
- [16] Fumio Sumi, Hirotaka Imagawa, "The Animator-Oriented Motion Generator, Animanum, Based on a Humanoid Robot-Control Algorithm", Siggraph2001, Sketches and Application, Conference Abstracts and Applications, p.147, Aug. 2001.
- [17] E.G.Gilbert, C.P.Foo, "Computing the Distance Between General Convex Objects in Three-Dimensional Space", IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol.6, No.1, pp53-61, 1990
- [18] E.G. Gilbert, D.W.Johnson, S.S.Keerthi, "A Fast Procedure for Computing the Distance Between Complex Objects in Three-Dimensional Space", IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol.4, No.2, pp193-203, 1988
- [19] S.Quinlan, "Efficient Distance Computation between Non-Convex Objects", Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation, Vol.4, pp3324-3329, 1994
- [20] M.Potmesil, I.Chakravarty, "Modeling Motion Blur in Computer Generated Images", Computer Graphics, Vol.17, No.3, pp389-399, 1983