アニメーション制作におけるキャラクタの 動作強調手法 Motion Filter

佐藤 修一[†], 正会員 近藤 邦雄^{††}, 佐藤 尚^{††},
島田 静雄^{††}, 金子 満^{†††},

Motion Filter for Emphasizing Expressions in Animation Processing

Syuichi Sato[†], Kunio Kondo^{††}, Hisashi Sato^{††}, Shizuo Shimada^{††}
and Mitsuru Kaneko^{†††}

Abstract Emphasizing expressions are an effective way of creating motion in moving pictures. The author proposes a "Motion Filter" which is a computerized tool to design the motion of characters for animation. Computer animation has been in great demand in the field of TV processing. However most animation has been created by animators who paint their work directed onto celluloid in cartoon films. The writer asked those experts about their techniques and analysed these in order to be able to transfer them into a computer system. Motion Filter accepts keyframes as input motion and transforms these into emphasized motions. It works interactively and is friendly to most users who wish to design animation.

1. ま え が き

コンピュータアニメーションは、映画制作やCM制作にはなくてはならない技術である。コンピュータを使ったアニメーション制作では、セルアニメーションでは描写できなかったような世界が表現できることや、これまで行われてきた作業を省力化できるという大きな利点がある。アニメーション制作の工程は概ね、絵コンテの作成、キーフレームの作成、動画の作成、彩色、撮影の順に行われる。彩色の段階では、線画で描

かれた絵の閉区間内の色をコンピュータによるツールを利用して塗ることにより、作業の省力化が行われる。また動画作成の段階では、原画が作成された後、特徴的な場面の間を補間していくという方法を用いて、省力化が行われる¹⁾。

また、物理計算を元にして動きを生成する手法は広く研究されている。実際の動きを数学的に解析し、これをパラメトリックに加工することによって新しい動きを生成するという研究もされている^{2)~4)}。しかし、コンピュータが補間して出力した動画においては、ア

キーワード：コンピュータアニメーション, Motion Filter, 強調表現, タイミングコントロール

1995年3月7日受付, 1995年6月2日再受付

[†] 埼玉大学 工学部情報システム工学科, 現在 東京工業大学 情報理工学研究所 (〒152 東京都目黒区大岡山 2-12-1, TEL 03-5734-2183)

^{††} 埼玉大学 工学部情報システム工学科 (〒338 浦和市下大久保 255, TEL 048-858-3498)

^{†††} 株式会社エムケイ (〒150 東京都渋谷区渋谷 1-10-12, TEL 03-5467-7160)

[†] Tokyo Institute of Technology (2-12-1, Ohokayama, Meguro-ku, Tokyo 152, Japan)

^{††} Saitama University (255, Shimo-ookubo, Urawa-shi, Saitama 338, Japan)

^{†††} MK Company (1-10-12, Shibuya, Shibuya-ku, Tokyo 150, Japan)

アニメーターの経験に基づいたアニメーションに特徴的な動きの表現に関して、取り扱われていない。これは、アニメーション作品には物理法則や数学的な正確性をわざと崩した表現があるからである。この表現が、アニメーションのエンターテインメント性を高めている要素である。そのため、魅力的なアニメーションを制作するためには、職人的な作業に頼らざるをえない現状であり、セルアニメーションにおける熟練した技術者が制作に関わっている⁵⁾。

本研究では、アニメーション制作のプロセスにおいて最も時間がかかり、コンピュータによる自動化があまり進んでいない動画作成の段階に着目した。アニメーションの中で用いるキャラクタの動きを強調し、様々な表現を行うためには、セルアニメーション制作の技術者が持つ熟練したテクニックを利用することが必要である。こうしたテクニックを再利用可能な形で蓄積し利用することができれば、動画制作の自動化を進めることができる。そこで本研究では、アニメーターの持つ熟練したテクニックをもとにした動作強調手法を提案することを目的とする。

本論文ではまず人の動き、およびアニメーションにおけるキャラクタの動きについて分析を行った。この結果、強調表現にはいくつかの種類があり、キャラクタの体を構成するパーツの長さの変化、そして各パーツ間の角度の変化によって表すことが可能であることがわかった。またこれらの変化はキャラクタの違いによらず、強調表現の種類毎に同一のタイミングで表されることもわかった。そこでこのタイミングについて整理を行い、基本的な強調表現を表すタイミングとして8つのパターンを抽出した。

さらにキャラクタ動作の種類に対応する強調表現について考察した。この結果、入力された動きに対して自動的に強調表現を付加する手法を提案する。従来のコンピュータによる動画生成は、2つのキーフレーム間だけに注目して補間を行っている¹⁾。本研究が提案する手法を用いることによって、一連のキーフレームによって表現される動作に対して自動的に解析を行った後、最適な補間法を選択し動画が生成される。この手法によって、これまでの動画自動生成では困難であった、動きの強調表現が可能になった。生成される動画には、アニメーションに特有の効果が含まれている。

2. 強調表現

人や動物の手や足にセンサを取り付け、そこから得られる動きを忠実に動画として再現するというシミュレーション手法がある⁶⁾⁷⁾。しかし、ブラウン管やス

図1 強調表現
Emphasized expressions.

クリーンといった限定された空間の中で、現実の動きに忠実にキャラクタを動かしただけでは、期待した動作情報を正確に伝えにくい。そこでアニメーターは、強調表現を元の動きに付加させることによって、スピード感や感情などの様々な情報を表現している。

このときアニメーターが用いる最も大切な知識が、強調表現法である⁸⁾⁹⁾。本節では強調表現について述べ、この表現法とタイミングの関係について述べる。

2.1 セルアニメーションにおける強調表現

中割りを描画するために必要な知識が、強調表現である。この強調表現を図1に示す。これは人間のキャラクタが崖から飛び降りる様子を描いたものである。この中に動画を制作する際によく用いられる強調表現が含まれている。

以下にその強調表現の効果を示す。

(1) つぶし・のぼし

ボールが壁に当たってつぶれたり、その反動で伸びたりするような動きを表現する時に使われる。

(2) フォロースルー

ある物体が別の動く物体に対して、時間的なずれを伴いながら追いかけて動作する様子を表すために使われる。

(3) 予備動作・リアクション

手を振り降ろす前の小さな戻しや、その降り降ろした手を急に止めた後に少し行き過ぎてしまう様子を表すために使われる。

これらは現実の動きの中に含まれる要素であるが、その効果を極端に大きさに表現したり、実際にはあり得ない組合せを用いることによって、強調表現は実現

できる。

2.2 強調表現とタイミングコントロール

アニメーション制作の工程上、動作の軌道はキーフレームが描かれた時点で決定されている。動きの強調表現がフレーム上に現れるときは次の工程、動画の作成の段階である。強調表現はタイミングによってコントロールされている。アニメーションにおけるタイミングとは、隣合う静止画どうしをいかに変化させて描くかということである。

これまでコンピュータアニメーションにおける動きの生成は、パスの制御とタイミングの制御に明確な区別がされていなかった。エンターテインメントのためのアニメーションは、リアルな動きの追求ではなく、わかりやすく強調された動きが用いられるので、タイミングのコントロールが重要な課題となる。本研究では、動きの強調表現のためのタイミングコントロールを行う Motion Filter 手法を提案する。

アニメーション制作において最も困難な問題は、キャラクタの通る軌道の設定ではなく、動作の連続性、つまりタイミングの制御ということになる。同じキーフレームが与えられても中割り方法の違いによって、キャラクタの動きは変わってしまう。このためにアニメーション制作工程において動画の制作にあたる人達は、あらかじめ様々な動作に関する特殊な知識を身につけておかなければならない。

次節では、アニメーションの動きの要素のうち、「タイミング」について分析し、強調表現するための手法である Motion Filter について述べる。

3. Motion Filter

Motion Filter を用いた動画の自動生成は、以下のよう手順で行われる。

- (1) キーフレームから基本的な動き(軌道)を得る
- (2) アニメータの知識を元にした効果を付加
- (3) 目的の動画を作成する

ここで、(2)の「効果を付加する」部分を「Motion Filter」と呼ぶ。これは入力された動きに対して強調表現の効果を付加し、別の動きを生成する処理法である。この Motion Filter を通して出力された動きは、元の動きと比べてスピード感や感情表現が付加されたものとなる。

4. Motion Filter のアルゴリズム

4.1 タイミングカーブ

タイミングは、図 2 に示すグラフで表される。このタイミングを表すグラフをタイミングカーブと呼ぶ。

図 2 タイミングカーブ
Timing curve.

図 3 タイミングカーブの拡張
Extended timing curve.

タイミングカーブは横軸に時間、縦軸にスピード変化を取るグラフで表されている。このスピード変化に負の値を許すことによって、実際に動くべき方向(キーフレームが指示している方向)とは逆の方向に変化をつけることが可能となる(図 3)。

アニメーションにおいてキャラクタの手や足は、加速や減速に応じて伸縮する。一般に加速時は伸び、減速時は縮んで表現される。そこで、縦軸をスピードではなく長さの変化とし、キャラクタの手足の伸縮の効果を表す。

4.2 滑らかな中割り

キーフレーム間の中割りは、1 フレームだけに注目して行われるのではない。その前後のフレームの情報も加味して動画は描かれている。前後 3 フレーム間の状態と、中割りする際の動きの変化を表 1 に示す。

表1 3フレーム間の状態と中割りの関係
The relationship between conditions of 3 frames and inbetweens.

前回	今回	次回	動きの変化
順	順	順	加速(等速)
順	順	逆	加速(等速) → 0
順	逆	順	0 → 加速(等速) → 0
順	逆	逆	0 → 加速(等速)
逆	順	順	0 → 加速(等速)
逆	順	逆	0 → 加速(等速) → 0
逆	逆	順	加速(等速) → 0
逆	逆	逆	加速(等速)

図4 予備動作
Previous action.

表中「順」は、現在のキーフレームから次のキーフレームへの変化が前のキーフレームからの変化と比べて順方向であることを、「逆」は逆方向であることを表している。

4.3 強調表現に対する Motion Filter

運動しているキャラクタの手足の軌跡の中で、強調表現が認められるタイミングカーブには、以下の2つの特徴がある。

- (1) 中割りのタイミングによって表されるもの(角度による強調)
- (2) キャラクタの形が変化することによって表されるもの(形状による強調)

次に、この角度と形状による強調表現について述べる。

(1) 角度による強調

予備動作とリアクションは角度による強調表現によって表現できる。

●予備動作

動きの変化が「0 → 加速」の時、予備動作が起こる。これは進行方向の反対向きに若干角度を戻すことによって実現されている(図4)。まず図中1と2がキーフレームとして与えられ、点線矢印のような動きが期待されている場合、中割りされる絵はまず矢印a

図5 リアクション
Reaction.

図6 のばし
Stretch.

の方向に動き、その後矢印bの方向に動く。予備動作の大きさは動きの変化量に応じて変化している。

●リアクション

予備動作とは逆に、動きの変化が「加速 → 0」の時発生する。進行方向に若干行き過ぎ、キーフレームの状態まで戻すことによって実現されている(図5)。図中1と2がキーフレームとして与えられたとき、点線矢印のような動きが期待されている場合、中割りされる絵はまず矢印aのようにキーフレーム2を越えて動き、その後矢印bの方向に動いて元に戻る。このときのリアクションの大きさも動きの変化量に応じて変化している。

(2) 形状による強調

のばし、つぶしは形状による強調によって表現できる。

●のばし

加速中にはパーツの長さが若干伸びている(図6)。その後、等速に運動している間や減速中に元の長さに戻っている。図中1と2がキーフレームとして与えられたとき、点線矢印のような動きが期待されている。このとき中割りされる絵は、加速中元の長さを越えて伸び、減速に従って元の長さに戻っていく。

図7 つぶし
Squash.

図8 分類されたタイミングカーブ
Classified timing curves.

●つぶし

動きの変化が「加速 → 0」の時、その速度変化の大きさに応じてパーツの長さは短くなっている（図7）。図中1と2がキーフレームとして与えられたとき、点線矢印のような動きが期待されている。このとき中割りされる絵は、実線矢印で表したように減速している間元の長さとは比べて短く描画される。

以上のように、タイミングカーブの変化によって強調表現が可能になる。

4.4 タイミングカーブの分類

以上の分析をもとにしてタイミングカーブの分類を行った結果を、図8に示すように8つのパターンにまとめた。

これらのタイミングカーブはそれぞれ、2つのキーフレーム間を補間する際の角度変化の度合を示したものである。4.1節で述べた通り、それぞれ縦軸がスピード変化、横軸が時間を表している。グラフ中の点線はスピード変化の正負を分ける線である。タイミン

図9 タイミングカーブの選択
Selection of timing curves.

グカーブが負の値をとるとき、キーフレームから予想される方向とは逆方向に動作の変化が起こる。

次に、一連の動作におけるタイミングカーブの選択法を述べる。

4.5 タイミングカーブの選択

注目しているキーフレームと、その前後のキーフレームを調べることによって、タイミングカーブは決定される。図8において分類されたタイミングカーブの中から、その場面に適したものを選択し、組合せることによって、強調表現は実現される。タイミングカーブは各キーフレームの間ごとに選択される（図9）。この工程を以下に示す。

(1) 動作全体を通しての動きの変化を調べる

① スケルトン内のパーツ間の角度が、次のキーフレームにおける姿勢に対して増えているのか減っているのかを調べる。

② これを全てのキーフレームについて調べる。

(2) 角度の増減を元にして、タイミングカーブを決定する

強調表現とともに、アニメーションとして滑らかな動きにするための、タイミング決定のルールを以下に示す。

① 最初のフレームはスピード0からスタートする。

② 負の方向への動きが連続しないようにする。

③ 最後のフレームはスピード0へと減速して終了させる。

このルールとフレーム間の関係を示した表1を用いて、タイミングカーブとの対応を示すテーブルを表2に示す。表中で用いられている「順」および「逆」は、表1と同じ意味を表している。「0」は、停止していることを表す。また表中の数字は、図8の中で各グラフの上に示された数字と対応している。

表2 タイミングカーブの選択に使われるテーブル
Table for the selection of timing curves.

前回 → 今回	次回 0	次回 順	次回 逆
0 → 0	6	5	5
0 → 順	2	3	2
0 → 逆	2	2	3
順 → 0	1	0	0
順 → 順	7	6	7
順 → 逆	4	4	1
逆 → 0	1	0	0
逆 → 順	4	1	4
逆 → 逆	7	7	6

図10 タイミングカーブからの角度生成
The way of angle generation using timing curve.

4.6 タイミングカーブから角度への変換

タイミングカーブを $f(t)$ としたとき、時間 t におけるある関節の角度は、以下のような式で表される。

$$rate(t) = rate(t-1) + \frac{f(t) dt}{\int_0^n f(t) dt} \quad (1)$$

$$angle(t) = 1stAngle \times \{1 - rate(t)\} + 2ndAngle \times rate(t) \quad (2)$$

まず (1) 式を用いて $rate(t)$ を計算する。ここで $rate(t)$ は、1以下の実数を取る関数である。 $\int_0^n f(t) dt$ は図10において塗りつぶした部分の面積を表している。タイミングカーブを表すグラフの中で、点線は speed 軸の0点を表しているの、それより下の部分では $f(t)$ は負の値を示すことになり、 $rate(t)$ の値は $rate(t-1)$ と比べて小さくなる。このことによって、タイミングカーブはキーフレームで指示された動きに対して反対方向の動きとなる。

(2) 式における $angle(t)$ は、時間 t における関節間の絶対角度を表している。図11で示す通り、1stAngle は最初の、2ndAngle は次の姿勢を表すキーフレームにおける関節間の角度を表している。 $angle(t)$ は $rate(t)$ を媒介変数として両キーフレーム間の角度を内分した

図11 生成される角度
Generated angle.

図12 自動強調システムによる作業の流れ
Flow of operations on automatic transformation system.

角度となる。

4.7 タイミングカーブから長さへの変換

2章で述べたように、アニメーションには長さによる強調がある。一般に、加速する時には伸び、減速する時には縮めて表現されることが多い。そこで、角度のために用意したタイミングカーブをそのまま長さの変化に用いる。(3) 式によって計算された $lrate(t)$ に従って、各フレームにおけるパーツの長さが変化する。

$$lrate(t) = 1.0 + \frac{f(t) dt}{\int_0^n f(t) dt} \times Volume \quad (3)$$

式の中で $Volume$ は、長さ変化の程度を表す 0～1 の実数である。

5. 自動強調システムの構築

5.1 自動強調システムの概要

Motion Filter を使った自動強調システムを用いて、目的とするアニメーションを出力するまでの作業の流れを、図12に示す。

図 13 スケルトンモデル
Skeleton model.

あらかじめ蓄えられたデータベース、もしくはマウスによって複数のキーフレームを入力する。入力されたデータから、動作解析ツールによって、動作のスケジュール情報が抽出される。これを受けとった動作強調付加ツールは、情報を元に適当なタイミングカーブを割り当て、動画を生成する。この際、動画の制作者は入力データに対してどのような強調表現を付加するか選択することが可能である。また角度、形状それぞれの強調の度合は、制作者の意図に従ってそれぞれ独立に指定することもできる。

5.2 スケルトンモデル

動作の入力から強調表現の付加まで一貫したキャラクターの操作を行うには、統一されたモデルを用意する必要がある。人や動物の動きを表現するために、基本となるモデルを図 13 に示す。このモデルは 24 のパーツで構成されており、それぞれが長さ、接続されたパーツに対する角度という要素を持つ。

6. 作画実験の結果と評価

6.1 角度による強調（予備動作・リアクション）

Motion Filter を使って動画を生成するために、図 14 に示す 3 枚のキーフレームを入力した。入力されたキーフレームに対して強調表現を付加した例を図 15 に示す。「入力」と書かれた列は、入力されたキーフレームを等間隔に中割りしたものであり、「角度」と書かれた列はこれに角度による強調を施したものである。この例ではキャラクターは腕を振り上げる動作をとっている。強調表現を付加した動画では、動作にはいる前（図中 a）に若干元に戻った腕が、滑らかに加速していく。最後は行き過ぎて（図中 i）、キーフレームの位置まで慌てて戻すまでの一連の動作が描かれている。

予備動作によって、これから行われる動きに対して

図 14 キーフレーム
Keyframes.

図 15 強調表現を施した例
Illustration of expressions of emphasized motions.

注目を集める効果が生まれる。さらにリアクションによって、動きの勢いが表現される。大きなリアクションが付加されると、力強い動作の余韻を表現することができる。

6.2 形状による強調（のぼし・つぶし）

形状による強調表現を付加した例を図 15 に示す。「形状」と書かれた列が入力されたキーフレームに対して形状による強調を施した例である。全節と同様、キャラクターは腕を振り上げる動作をとっている。この例では、腕と腰のパーツに長さの変化をつけて表現している。

形状による強調表現は主に、スピード感を強調する動きがある。角度変化のスピードがピークに達するとき（図中 c）、腕の長さをより長く表現することによって、加速感が強調されて見える。逆に減速時（図中 e）に、長さを短くすることによって、急停止を明確に表現することができる。

7. む す び

本論文では実際の人の動きや、アニメーションにおけるキャラクタの動きを分析することによって、強調表現がどのように施されているのかを調査した。この結果、

- (1) 強調表現は、角度による変化と形状による変化に分けられる。
- (2) 強調表現はタイミングカーブを使って表現することができる。
- (3) 強調表現を表すタイミングカーブはキャラクタの違いによらない。
- (4) どの強調表現が使われるかは、動作の種類による。

ということがわかった。

この調査、分析をもとにして、以下に示す強調表現法を提案した。

- (1) 基本的な強調表現を表す8つのタイミングカーブを整理した。
- (2) 入力された動作の種類を解析する手法を提案した。
- (3) 解析された動作の種類をもとに、適当な強調表現を自動的に付加するために Motion Filter という手法を提案した。

また、Motion Filter が出力したスケルトンモデルをレンダリングアプリケーションによってレンダリングし、1つのアニメーション作品を作成した。本研究によって、アニメーション制作上困難であった動画作成における強調表現の付加を、自動化することが可能となった。

〔参 考 文 献〕

- 1) M. Kaneko: "A Process of Making Animation", CG-ARTS, (1991)
- 2) 鷗沼, 武内: "感情を伴った人間の歩行アニメーション", monthly 画像ラボ, 5, 6 (1994)
- 3) L. Bezaul, R. Boulic, N.M. Thalmann, and D. Thalmann: "An Interactive Tool for Design of Human Free-Walking Trajectories", Creating and Animating the Virtual World (1991)

- 4) Ronan Boulic, Daniel Thalmann: "Combined Direct and Inverse Kinematic Control for Articulated Figure Motion Editing", ACM SIGGRAPH '93 Course Notes, No.80, pp.16-26 (1993)
- 5) 三輪, 大口ほか: "CG 夢博物館", 株式会社富士通経営研修所 (1992)
- 6) M. Schafer: "Acclaim Motion Capture System Technical Issue", ACM SIGGRAPH '94 Course Notes, No.9, pp.62-68 (1994)
- 7) 中田 靖: "ゲーム, アニメ業界で導入進むモーションキャプチャ", 日経 CG, 1995 年 2 月号, pp.86-95 (1995)
- 8) ジョン・ハラス, ロジャー・マンベル, 伊藤逸平・訳: "アニメーション<理論・実際・応用>", ダヴィッド社 (1972)
- 9) Harold Whitaker, John Halas: "アニメーションのタイミング技法" ダヴィッド社 (1983)

さとう しゅういち
佐藤 修一 平成 7 年, 埼玉大学理工学研究科修士課程修了。同年, 東京工業大学理工学研究科博士課程入学。同大学にて, CG, コンピュータアニメーションに関する研究に従事。

こんどう くにお
近藤 邦雄 昭和 54 年, 名古屋工業大学第 2 部機械工学科卒業。東京工芸大学電子工学科講師を経て, 平成元年, 埼玉大学工学部情報工学科助教授。CG, ユーザインタフェース, 形状モデリング, 感性と知識をもとにした画像処理の研究に従事。工学博士。正会員。

さとう ひさし
佐藤 尚 平成元年, 国際基督教大学修士課程修了。平成 2 年, 埼玉大学工学部情報工学科助手。アルゴリズムの設計と解析, CG, 曲面理論などの研究に従事。

しまだ しずお
島田 静雄 昭和 29 年, 東京大学工学部卒業。名古屋大学工学部助教授, 教授を経て, 平成 2 年, 埼玉大学工学部情報工学科教授。自動作図とグラフィックス, 情報管理, データベース, 日本語処理の研究に従事。工学博士。

かね こ みつる
金子 満 昭和 36 年, 慶應義塾大学卒業。同年, (株)フジテレビジョン入社。南カリフォルニア大学留学後, 昭和 49 年, (株)MK, 昭和 62 年, メトロライトスタジオ設立。現在, 東京工業大学博士課程にて, 次世代アニメーションシステムの研究に従事。