

## 対話型進化計算によるモーシヨ​​ン作成・編集・検索システム

## Motion Generation, Edit and Retrieval Systems Using Interactive Evolutionary Computation

若山 雄己<sup>1</sup>      高野 茂<sup>2</sup>      岡田 義広<sup>2</sup>      西野 浩明<sup>3</sup>  
 Yuki Wakayama    Shigeru Takano    Yoshihiro Okada    Hiroaki Nishino

## 1. はじめに

現在、多くの3次元コンピュータグラフィックス関連の市販ソフトウェアが存在する。しかし、これらのソフトウェアを利用する場合、コンピュータグラフィックスの専門的な知識や各ソフトウェア特有の操作を覚える必要がある。コンテンツにおいて、キャラクターのモーシヨ​​ンは重要な要素であり、作成には専門的な知識が必要である。一般的な利用者にとって専門的な知識がなくとも、直感的にモーシヨ​​ンを取り扱う手法が必要不可欠である。

人間にとって困難な作業をシステムが行い、システムが取り扱うことができない最小限の作業を人間が担当するのが好ましい。データの最適化手法に対話型進化計算という手法がある。これは、人間の主観的評価に基づいてデータを最適化する計算手法である。最適化には遺伝的アルゴリズムによる進化計算を用いる。進化計算における評価関数を人間に置き換えることで、人間の感性をデータに反映させることができる。この手法は、画像や音楽の生成や、これらデータを検索する場合のヒューマン-マシンインタラクションシステムなどとして応用されている。人間にとって困難な作業をシステムが行い、システムが取り扱えない感性を必要とする部分を人間が担当する手法と言える。

本論文では、対話型進化計算によりモーシヨ​​ンを作成、編集、検索するシステムを提案する。システムの進化計算結果を人間が評価することで、専門的な知識がなくともモーシヨ​​ンの作成、編集、検索が可能である。モーシヨ​​ン作成システム[9]では、既存モーシヨ​​ンを部分モーシヨ​​ンに分割し、対話型進化計算により、滑らかに連結可能なものを選択し連結することにより新たにモーシヨ​​ンを生成する。モーシヨ​​ン編集システム[9]では、ウェーブレット変換を用いた多重解像度解析により既存モーシヨ​​ンを分解し、対話型進化計算により重み付けして再構成することにより新たにモーシヨ​​ンを生成する。モーシヨ​​ン検索システムでは、ラバン身体動作表現理論に基づく特徴量の対話型進化計算による絞り込みによりモーシヨ​​ンを検索する。

本論文の構成は以下の通りである。第2章では関連研究に関して説明し、第3章では遺伝的アルゴリズムによる対話型進化計算について述べる。応用システムの説明として、第4章ではモーシヨ​​ン作成システム、第5章ではモーシヨ​​ン編集システム、第6章ではモーシヨ​​ン検索システムについてそれぞれ説明する。最後に第7章で、まとめと今後の課題を述べる。

## 2. 関連研究

- 1 九州大学大学院システム情報科学府
- 2 九州大学大学院システム情報科学研究院
- 3 大分大学工学部知能情報システム工学科

モーシヨ​​ン生成手法について多くの研究が行われている。Lucasらは異なるモーシヨ​​ンを組み合わせることで、新しいモーシヨ​​ンを生成する手法を提案している[1]。モーシヨ​​ンを再利用するために、既存モーシヨ​​ンを複数の短いモーシヨ​​ンに分割する。様々な既存モーシヨ​​ンから得られた、短いモーシヨ​​ンを連結することで新しいモーシヨ​​ンを生成する。本論文で提案するモーシヨ​​ン作成システムでは、Lucasらのモーシヨ​​ン生成手法を用いる。効率的で直感的に生成を行うために対話型進化計算をLucasらの手法に応用している。

Bruderlinらは信号処理を用いることでモーシヨ​​ンを編集するシステムを提案している[2]。モーシヨ​​ン信号を多重解像度分解し、分解後の各帯域波形を編集することで、既存モーシヨ​​ンとは異なるモーシヨ​​ンを生成する。他にもWitkinらはモーシヨ​​ン信号の波形を動かし、モーシヨ​​ンを編集するシステムを提案している[3]。しかし、これらのモーシヨ​​ン信号を直接編集する手法は直感的ではなく、どの信号を変更すれば利用者が望むモーシヨ​​ンになるか分からない。本論文で提案するモーシヨ​​ン編集システムでは、先行研究のように信号処理を用いるが、直接編集することはしない。編集の際に利用する重みパラメータをシステムが対話型進化計算により最適化する。

Yuらは本論文でも利用しているラバン身体動作表現理論を言語化したラバノテーションを用いたモーシヨ​​ン検索システムを提案している[4]。ラバノテーションを用いることで、検索を行う際のデータの次元数を減らしている。本論文でもラバン身体動作表現理論を用いる。データの次元数を減らし効率よく検索するための特徴量でもあるが、同時に利用者が求めるモーシヨ​​ンとその動作心理にしたがって直感的に検索可能とするためでもある。身体動作の心理的特徴を抽出し、遺伝的アルゴリズムに組み込むことでこれを実現する。

対話型進化計算[5]は利用者が対象データを評価することで最適化する計算手法である。この手法の優れた点としては、最適化の際に必要な操作が評価のみという点である。対象データは利用者の評価が反映されるので、人間の感性を組み込む技術ということもできる。対話型進化計算の研究者らにより、様々な応用システムが提案されている。Andouらはクラシック音楽作曲支援システムを提案している[6]。提案システムでは、利用者とシステムが対話を行いながら音楽を作曲できる。また、Choらは音楽を検索するシステムを提案している[7]。遺伝的アルゴリズムを利用するために、音楽を遺伝子として表現している。システムが提示する複数の音楽を聴き、それぞれに評価を行い望む音楽を検索する。Nishinoら是对話型進化計算による3DCGコンテンツ作成システムを提案している[8]。提案システムでは画像、3次元形状モデルなど様々な3DCGコンテンツを直感的な操作のみにより作成できる。

本論文では、モーシヨ​​ン用途に応じて遺伝子化し、遺伝的アルゴリズムを用いることで対話型進化計算を実現す

る。対話型進化計算は直感的にデータを最適化できる手法であり、画像、音楽、3次元形状モデルなどの編集生成に広く応用されているが、モーションに関する研究は非常に少なく、いまだ不十分である。

### 3. 遺伝的アルゴリズムによる対話型進化計算

#### 3.1 対話型進化計算

対話型進化計算は、人間の主観的評価に基づいて対象データを最適化する計算手法である。簡単に言えば、進化的計算の評価関数を人間に置き換えた技術である。この手法は3次元形状モデルや音楽など、評価関数が数値化できないデータを人間の感性により操作できる。図3.1に対話型進化計算システム概念を示す。利用者はシステムが出力するデータを見たり聞いたりして評価する。システムは与えられた評価値に基づき、良いと思われる出力が得られるようにデータを最適化する。人間の主観的評価が組み込まれるため、感性をシステムに組み込む技術と言える。データの最適化には遺伝的アルゴリズムによる進化計算を用いる。

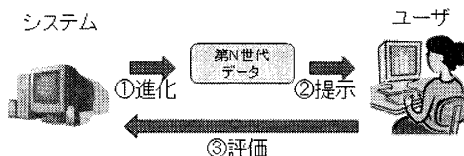


図3.1: 対話型進化計算概念図

#### 3.2 遺伝的アルゴリズム

遺伝的アルゴリズムは進化計算により近似解を探索するアルゴリズムである。対象データ(個体)を遺伝子としてコーディングし、解の候補となる個体を複数用意する。各個体に対し評価値を付与する。評価関数により個体の適応度が決まる。適応度に応じた遺伝的操作を行い、評価が反映されたデータを生成する。この操作を繰り返しながら解を探索する。

遺伝的アルゴリズムを使用し探索する際、個体を遺伝子としてコーディングする必要がある。遺伝子は解の要素である染色体により構成される。一般的には、染色体の対立遺伝子と、遺伝子の長さを固定する。しかし、問題によりコーディング方法は様々であり、必ずしも生物のコーディング方法にこだわる必要はない。例えば256階調の色を遺伝子表現する場合、図3.2のように表わされる。色の構成要素である三原色が染色体である。対立遺伝子は0から255の値で、遺伝子の長さは3となる。0から255は8ビットで表現できるので、計算機上では以下に示すように8×3ビット長で遺伝子を表現できる。

一般的な遺伝的操作を説明する。前処理として、N個の個体が入る集合を2つ用意する。以下、この2つの集合をそれぞれ“現世代”、“次世代”と呼ぶことにする。遺伝的操作を以下に記す。

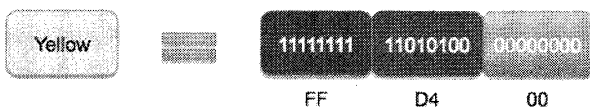


図3.2: 色の遺伝子表現例

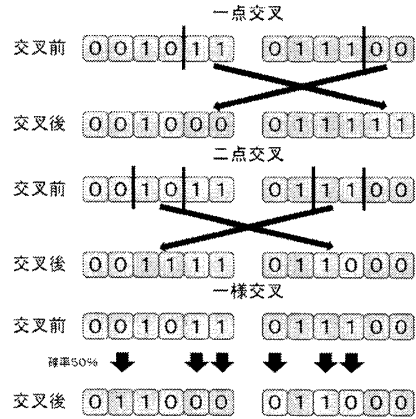


図3.3: 交叉手法

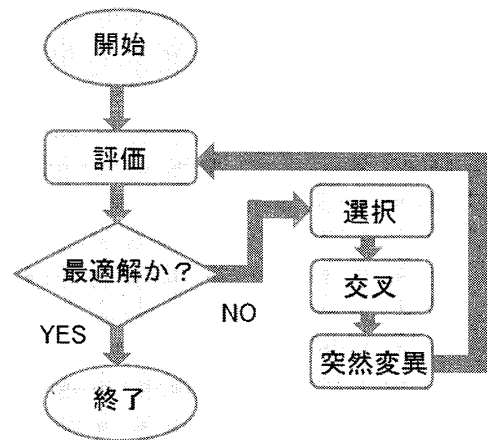


図3.4: 遺伝的アルゴリズムフローチャート

(1) 個体生成

現世代にN個の個体を生成する。初期世代はランダムに生成する。

(2) 評価

各個体を評価する。評価関数により各個体の評価値が決定する。対話型進化計算の場合、人間が評価を行う。システムの利用者が行う操作は、評価値の付与だけであり、専門的な知識は必要ない。

(3) 選択

評価値に基づいて個体を2つ選択する。 $f_i$ を個体*i*の評価値とすると、個体*i*を選ぶ確率 $p_i$ は以下の式で算出される。

$$p_i = \frac{f_i}{\sum_{k=1}^N f_k} \tag{3.1}$$

式3.1では、評価値が負の値を取らないことが前提になっている。また、ある個体がある個体よりも高い評価値を持つ場合、その個体を選択される可能性が非常に高くなる。この場合、早い段階で探索が収束してしまい、解の多様性が失われてしまう。このような現象を、初期収束と言う。

(4) 交叉

図3.3に示すように、交叉は選択された2つの個体の遺伝子を入れ替える操作である。

(5) 突然変異

突然変異は初期収束を防ぐために、一定の確率で個体の遺伝子の一部を変化させる処理である。この確率は、遺伝的アルゴリズムを利用するシステムの設計者が決める必要がある。

以上の選択・交叉・突然変異という遺伝的操作を行った後、次世代の集合が生成される。現代を次世代に置き換え解を取得するまでアルゴリズムを繰り返す。図 3.4 に遺伝的アルゴリズムの概要を示す。

#### 4. モーション作成システム

モーション作成システムの概要を図 4.1 に示す。複数の既存モーション間で類似しているフレームを探し出し、そこを分割点として分割した部分モーションをいくつか連結することにより様々なモーションを生成する。これにより、異なる既存モーションの部分モーションを連結させる場合でも滑らかに遷移させることができる。前処理として、全ての既存モーションデータから部分モーションを取得する。各部分モーションに対し一意なインデックス番号を割り当てる。以上の前処理の後、システムは初期世代としてランダムに部分モーションを連結したモーションを提示する。これに対し利用者は評価を付与する。システムは評価値に基づき、次世代のモーションを生成し再び利用者に提示する。次世代を生成する際に、選択、交叉、突然変異といった遺伝的操作を行い進化計算する。このように、連結生成されたモーションをユーザが評価することにより、ユーザが必要とするモーションを生成する。

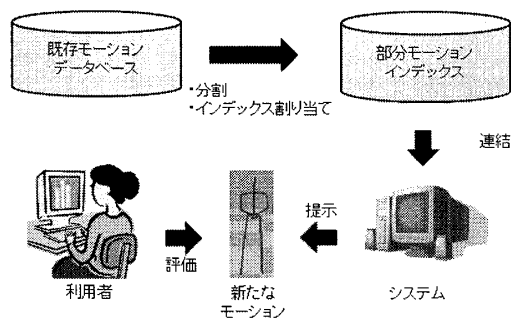


図 4.1: モーション作成システムの概要

##### 4.1 モーションデータ

モーションデータの代表的なファイル形式に Biovision 社が提唱した BVH フォーマット、Acclaim 社が提唱した ASF-AMC フォーマットなどがある。実験システムでは、主要な商用 3D キャラクタアニメーションソフトでサポートされている BVH フォーマットを使用する。

BVH フォーマットは骨格情報(HIERARCHY 部)と動作情報(MOTION 部)から構成される。骨格情報は、各関節の初期オフセット(関節の長さや初期方向)、関節の親子関係、および関節自由度の情報を記述している。動作情報は、骨格情報部で定義された関節の回転角度とルート(腰)に関する位置と回転角度の時系列情報を記述している。

##### 4.2 モーション分割・連結

Lucas らは、複数の既存モーションデータを利用し、多様なモーションを生成する手法を提案した。図 4.2 に示すように、既存モーションをいくつかの部分モーション

(以下:部分モーション)に分割し、これらを連結することで新たなモーションを生成する。新たなモーションを構成する部分モーションは、各連結フレーム区間で滑らかに遷移する必要がある。そこで、既存モーションのあるフレーム区間と似ている、異なる既存モーションの区間のみ連結するという規則を設ける。以下にモーションの分割方法、連結方法を説明する。

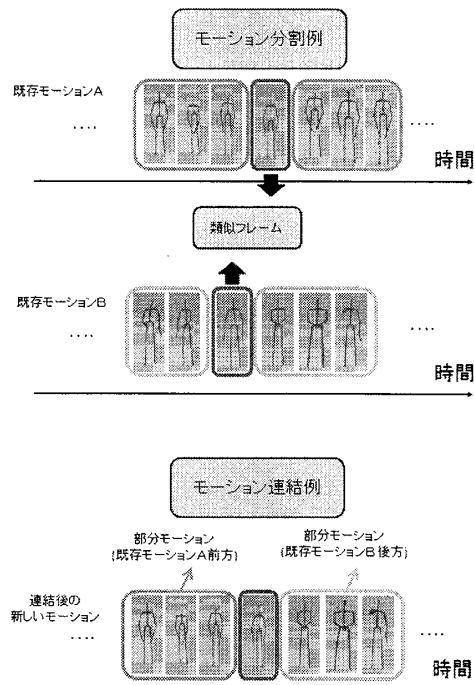


図 4.2: モーション分割・連結処理

##### ・ モーション分割

初めに、2つの既存モーション間における類似フレーム区間を求める。類似度計算は BVH フォーマットのフレーム単位で行い、関節角度を用いる。あるフレームにおける全ての関節角度を加算し、合計値を計算する。次に、2つのモーションデータ間で求めた合計値の差分をとる。この値が小さい程、フレームにおける両データのモデルの姿勢が類似していることを示す。

算出した類似度から閾値により各モーションフレームを類似と非類似に識別する。識別後、各類似フレーム区間に対しラベルを割り当てる。このフレーム区間をモーションの分岐点とし、既存モーションを複数の部分モーションに分割する。

##### ・ モーション連結

部分モーションを連結し、新たなモーションを生成する。部分モーションの連結区間は、類似フレーム区間で滑らかに遷移させるために二つの部分モーションの関節角度を中割補間する。式 4.1 は類似フレーム区間における、新たなモーションの関節角度を求める式である。 $x$  を補間フレームの現在位置、 $F$  を補間するフレーム数、 $\alpha(x)$  を中割の際の係数とする。また、 $M_1(x)$ 、 $M_2(x)$  をそれぞれフレーム  $x$  における連結される部分モーションの関節角度とすると、新たに生成されるモーションの関節角度は次の  $M(x)$  となる。 $\alpha(x)$  は 3 次関数により計算する。

$$M(x) = M_1(x)\alpha(x) + M_2(x)(1.0 - \alpha(x)), (1 \leq x \leq F) \quad (4.1)$$

$$\alpha(x) = 2\left(\frac{x}{F+1}\right)^3 - 3\left(\frac{x}{F+1}\right)^2 + 1, (1 \leq x \leq F) \quad (4.2)$$

関節角度補間の後、2つの部分モーションの位置を補間する。各モーションデータは、基準となる"腰"の位置が任意時間で異なる。そのため、片方の部分モーションの"腰"の位置に、もう片方のデータを合わせる必要がある。

### 4.3 遺伝子表現

遺伝的アルゴリズムを用いるために、モーションを遺伝子コーディングする。遺伝子は複数の部分モーションを連結させ生成したモーションである。図4.3に遺伝子コーディングの概念図を示す。実験システムでは、対立遺伝子を部分モーションのインデックス番号で表わす。既存モーションデータから分割された全ての部分モーションに対し、一意なインデックス番号を割り当てる。既存モーションデータから分割される部分モーションの数を  $N$  とすると、対立遺伝子は  $0$  から  $N-1$  と表わせる。遺伝子の長さは可変で、利用者はこの値を自由に変更できる。これにより、生成するモーションのフレームの長さを調整できる。ただし、初期世代を生成した後は、変更不可能である。

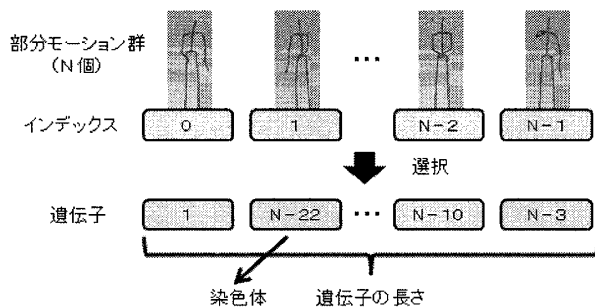


図 4.3 : 部分モーションによるモーション遺伝子表現

### 4.3 システムの実装

連結した部分モーション間を滑らかに遷移させるために、連結フレーム間で姿勢が類似していることが必要であることを述べた。システムはモーションを生成する際、連結可能な部分モーションを選択して連結する必要がある。Lucas らは MotionGraph を参照し連結性を確認した。実験システムでは、簡略化のため MotionGraph を作成するのではなく、部分モーション間の対応表を作成する。システムはこの部分モーション対応表により、連結性を確認する。

部分モーションは、その始点と終点フレーム区間が連結フレーム区間である。しかし、既存モーションの先端と終端に位置する部分モーションだけは例外である。先端に位置する部分モーションは、前方に部分モーションを連結できない。同様に、終端に位置する部分モーションは、後方に部分モーションを連結できない。実験システムでは、これらの部分モーションのインデックス番号を、遺伝子の先端、もしくは後尾に位置づけるために制約条件を設けている。

実験システムのインタフェースを説明する。実験システムでは、システムが提示する8つの候補モーションに対し5段階で評価することで必要とするモーションを作成する。

図4.4は実験システムの画面である。利用者は画面中央にあるモーションを見て各々を評価する。画面右にある評

価入力領域で評価値を1から5までの5段階で入力する。全ての評価の後、画面右上にある進化ボタンを押すことで、システムが評価に基づき新たなモーション候補群を利用者に提示する。

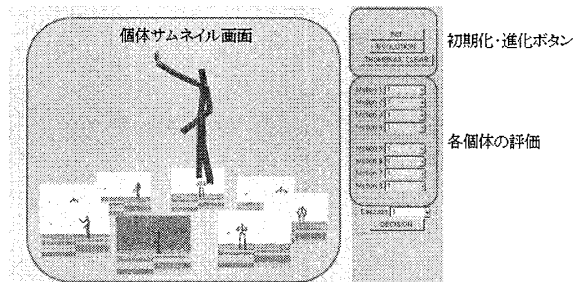


図 4.4 : モーション作成システム

## 5. モーション編集システム

既存モーションに信号処理を行うことでモーションを編集する。ウェーブレット変換によりモーション信号を多重解像度分解し、各周波数成分に対し重みを付けることでモーションの波形を変化させる。変化させた各周波数成分を再構成することにより、既存モーションとは異なるモーションを生成する。重みを遺伝子の構成要素とすることで、対話型進化計算によるモーション編集を可能とした。モーション信号を直接編集するのではなく、システムが提供したモーションに対して評価値を付与するだけで既存モーションを編集できる。

### 5.1 ウェーブレット変換

ウェーブレット変換は信号処理手法の一つである。信号の時間と周波数の関係を解析する。基底関数としてウェーブレット関数を用いる。基準となるウェーブレット関数はマザーウェーブレットとよばれ、様々な縮尺に引き伸ばすことにより、それぞれの周波数のウェーブレットを作成する。各ウェーブレットを源信号にあてがい解析を行うのがウェーブレット変換である。

### 5.2 モーションデータ編集

ウェーブレット変換による編集処理は分解、ウェーブレット係数の調整、再構成の3段階の手順で構成される。初めに、モーション信号をウェーブレット変換し複数レベルの周波数成分に分解する。次に、各周波数成分に対し重みを与える。付与する重みを調整することにより、モーションデータを編集する。最後に、ウェーブレット変換の再構成処理を行い編集後の新たなモーションデータを取得する。

編集アルゴリズムを説明する。生成される周波数成分の数を  $fb$ 、 $l$  をモーションデータのフレームの長さとするとき式5.1が成り立つ。

$$G_0 = G_{fb} + \sum_{k=1}^{fb} L_k \quad (5.1)$$

ただし、 $2^n \leq l \leq 2^{n+1}, n = fb$

各周波数成分のインデックス番号を  $k$  とする。生成される周波数成分の数が  $fb$  である。 $k$  は1から  $fb$  までの番号になる。ここで、 $G_k$  を低周波数成分、 $L_k$  を高周波数成分とする。 $G_0$  はウェーブレット変換を行っていない、元のモーションデータを示す。

次に、分解処理、重みの調整、モーシオン再構成処理について説明する。図 5.1 に概要を示す。

(1) 分解処理

$h_0[n]$ ,  $h_1[n]$ をそれぞれ低周波数成分, 高周波数成分を取得するための分解数列とする。分解数列は様々な種類があり, ウェーブレット設計者によって与えられる。これらの数列を用い, 低周波数成分と高周波数成分を求める。 $m$  を数列の長さとする。あるフレーム  $t$  における低周波数成分と高周波数成分の値は, 式 5.2 と式 5.3 で計算できる。

$$G_{k+1}(t) = \sum_m h_0[2t - m]G_k(t). \tag{5.2}$$

$$L_{k+1}(t) = \sum_m h_1[2t - m]G_k(t). \tag{5.3}$$

(2) 重みの調整

各周波数成分に付与する重みを調整し, 高周波数成分  $L_k$  との積をとる。高周波数成分に対し重みを付与する式 5.4 を以下に示す。

$$L'_k(t) = \alpha L_k(t). \tag{5.4}$$

$L'_k$ は重みを付与された  $k$  レベルの周波数成分,  $\alpha$  は付与する重みである。

(3) 再構成処理

あるフレーム時間  $t$  における, 編集後のモーシオン  $G'_0$  は式 5.5 を以下に示す。

$$G'_0 = G_{fb} + \sum_{k=1}^{fb} L'_k \tag{5.5}$$

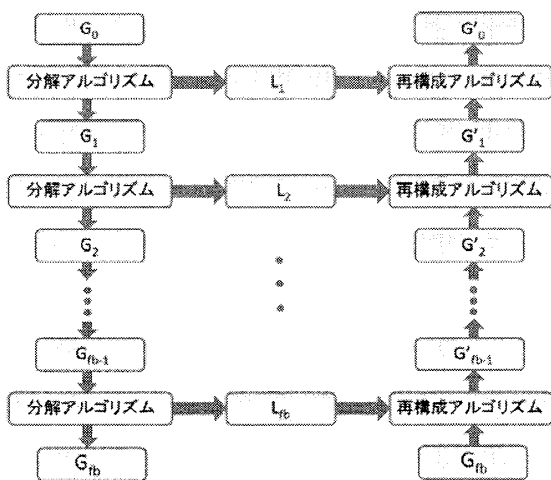


図 5.1 : ウェーブレット変換を用いた編集の概要

5.3 遺伝子表現

信号処理を用いた, 対話型進化計算によるモーシオン編集システムを考える。編集に必要なパラメータを遺伝子として表現する必要がある。実験システムでは対立遺伝子を信号処理の重みの係数  $\alpha$  とする。また, 遺伝子の長さはウェーブレット変換時の分解アルゴリズムで生成される周波数成分の数  $fb$  とする。重みの係数は可変で, 利用者はシステム上で変更できる。図 5.2 に遺伝子の表現例を示す。

実験システムでは, 前処理として既存モーシオンデータをウェーブレット変換により周波数分解する。利用者はシ

ステムの起動時に重みづけの範囲を指定する。システムは, ランダムに重みづけされたモーシオン群を初期世代として提示する。提示されたモーシオンを利用者が評価し, システムは評価値をもとに遺伝的アルゴリズムに従い進化計算を行う。進化計算により, より最適な重みの値が求まる。以上の対話を繰り返すことにより, 利用者が既存モーシオンを編集する。図 5.3 に既存モーシオンを信号処理した低周波成分のモーシオンを示す。最左端にあるモーシオンが既存モーシオンである。2 番目以降のモーシオンは, 信号処理を段階的に行った低周波成分のモーシオンである。信号処理を行うほど緩やかな動きが生成されている。

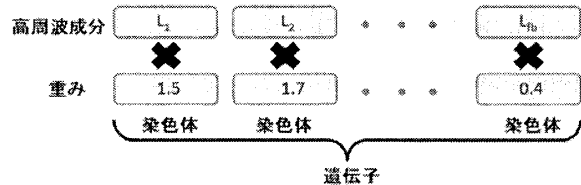


図 5.2 : モーシオン編集システムの遺伝子表現例

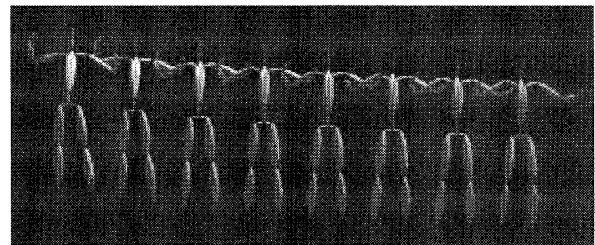


図 5.3 : 低周波成分モーシオン例

5.4 システムの実装

実験システムでは利用者が選択した既存モーシオンを編集できる。利用者はシステムが提示した 4 つのモーシオンを 5 段階で評価する。

図 5.4 は実験システムの画面である。利用者は表示された各モーシオンを見て評価する。評価はモーシオンの下にある各モーシオンの下にあるスライダーで行う。全ての評価の後, 進化ボタンを押す。システムは評価値に基づき, モーシオンの各周波数成分に掛かる重みを最適化したモーシオンを生成する。

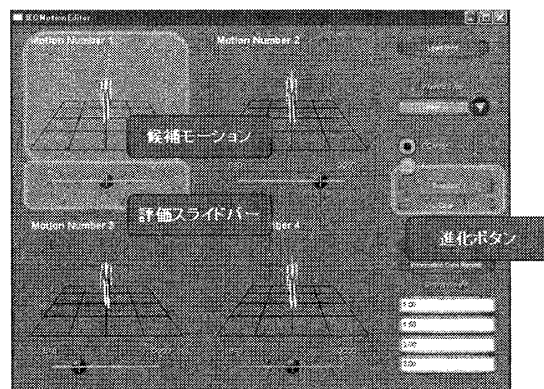


図 5.4 : モーシオン編集システム

## 6. モーション検索システム

インターネットなどの検索サービスでは、キーワード検索が主流である。しかし、画像や身体の動きといった言葉で表現することが困難なデータの場合、キーワード検索は適していない。モーションのようなキーワード検索が困難なデータは、データの属性値によって検索ができるコンテンツベース検索が適している。コンテンツベース検索では、対象データの特徴量を抽出する必要がある。実験システムでは、ラバン身体動作表現理論によるモーションデータの特徴量を採用した。抽出した特徴量を遺伝的アルゴリズムに組み込むことにより、対話型進化計算によるモーション検索システムを開発した。

図 6.1 を用いて、開発した対話型進化計算によるモーション検索システムを説明する。前処理として、モーションデータベースからラバン身体動作表現理論の特徴量を抽出し、特徴量データベースを作成する。特徴量にモーションのインデックス番号を割り当て遺伝子表現する。モーション検索時では、システムと利用者が提示、評価の対話を行いながらモーションを検索する。初期世代はデータベースからランダムに選択されたモーションを利用者に提示する。提示された各モーションに対し、評価値を付与する。良いと感じるモーションに対し高い評価値を付与することで、望むモーションを検索できる。全ての評価の後に、システムが遺伝的アルゴリズムにより進化計算を行う。計算結果から求められた次世代の遺伝子に類似している特徴量データベースを利用してモーション検索を行う。類似度計算にはコサイン類似度を採用した。

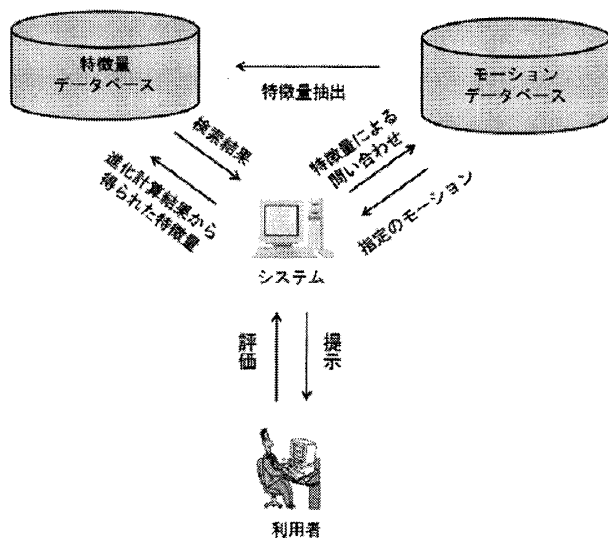


図 6.1: 対話型進化計算による検索システムの概要

以上のように、本論文で提案する検索システムは、一般的なコンテンツベースの検索システムと違う点が2点ある。まず、対話型進化計算ではシステムが計算結果により提示したデータに対し、利用者が評価を付与することで検索できるため、検索クエリを入力する必要がないこと。2つ目の相違点は、対話型進化計算では評価値によって進化計算を行い、利用者が望むデータの属性値が後の検索結果に残って提示されるため、以前の検索結果を引き継ぎながら絞

り込み検索ができることである。以下では、本検索システムの詳細を説明する。

### 6.1 ラバン身体動作表現理論による特徴量

ラバン身体動作表現理論とは、Rudolf von Laban を中心とするドイツ表現主義舞踊の創作者らが構築した、心理状態と身体動作の相関関係を規定する理論である。用いる概念が数理的で具体的であるため、理工学の方野で利用できる。Laban らは、身体動作をエフォートとシェイプという概念を用いて定義した。

#### ・ エフォート

エフォートとは身体動作の心理状態を表した特徴である。Laban らは、舞踊における身体動作の特徴を、攻撃形態と陶酔形態の構造で定義した。また、これらを心理状態と結びつけた。攻撃形態は、力強く、直線的な軌道を描き、突発的であるという特徴がある。陶酔形態は、弱々しく、曲線的で発散した動作方向であり、継続的であるという特徴がある。図 6.2 にエフォートの分類を示す。

攻撃形態、陶酔形態それぞれに対し、Weight(力加減)、Space(空間的特徴)、Time(時間的特徴)という3つの要素がある。これらを組み合わせることで、8種類のエフォート特徴パターンができる。

Effort Element	攻撃形態	陶酔形態
Weight (力加減)	強い、速い。 [能動的な心理の表現]	弱い、遅い。 [受動的な心理の表現]
Space (空間的特徴)	直線的な運動軌道。 [関心の集中した心理の表現]	バラバラで曲がった運動軌道。 [散漫な心理の表現]
Time (時間的特徴)	急加速、急停止 [警戒心理の表現]	ゆっくりと変化する。 [安んずる心理の表現]

図 6.2: エフォート分類

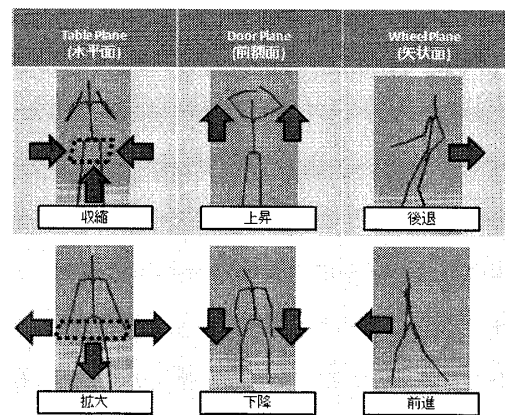


図 6.3: シェイプ概念図

#### ・ シェイプ

シェイプとは、全身の形状に関する特徴である。身体が全体的にどのように動作したのかを考える。水平面 (TablePlane)、前額面 (DoorPlane)、矢状面 (WheelPlane) の3つの平面の特徴がある。水平面で身体が収縮した場合、何

対象物に集中した心理の表れである。拡大は、何かを探しているような対象物の消失の表れである。前額面で身体が上昇した場合、能動的な心理を表わす。下降は、落胆の心理を表わす。矢状面で身体が前進した場合、自信を表わし、後退は驚きや不安を表わす。図 6.3 にシェイプの概念を示す。

### 6.3 特徴量抽出

ラバン身体動作表現理論を用い、モーションデータからエフォートとシェイプ特徴量を抽出する。動物の動作は、経験的に手足の動きで特徴付けられることが多いため、実験システムでは、身体の骨格木のエンドノードに着目し特徴量を求めた。

以下にエフォートにおける特徴量抽出方法を説明する。

#### (1) Weight(力加減)

Weight 特徴量は動きの力強さ、速さから能動的な心理を表現する。これを計算するため、モーション動作の速さに着目する。エンドノードごとに特徴量を求める。モーションのフレーム数を  $F$ 、フレーム  $f$  におけるエンドノード  $n$  の速度を  $v_n(f)$  とすると、その Weight 特徴量は式 6.1 で計算できる。

$$Weight_n = \frac{1}{F} \sum_{f=1}^F |v_n(f)| \quad (6.1)$$

#### (2) Space(空間的特徴)

Space 特徴量は身体動作の運動軌道から、集中した心理、もしくは散漫な心理を表現する。これを求めるため、各エンドノードの動きのばらつきを計算する。ばらつきがある場合、曲がった運動軌道を描くため、散漫な心理状態を表す。一方、ばらつきがない場合、直線的な運動軌道を描くため、目標物に対して集中的であるといえる。実験システムでは、各エンドノードの速度ベクトルの分散共分散行列を求め、動きのばらつきを計算する。エンドノード  $n$  の 3 成分から成る速度ベクトルを  $V_n$  とすると、分散共分散行列  $A_n$  は次式 6.2 で表わせる。 $E[X]$  は変数  $X$  の平均値である。

$$A_n = \begin{bmatrix} E[(v_1^n - \mu_1^n)(V_1^n - \mu_1^n)] & \cdots & E[(v_1^n - \mu_1^n)(v_3^n - \mu_3^n)] \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ E[(v_3^n - \mu_3^n)(V_1^n - \mu_1^n)] & \cdots & E[(v_3^n - \mu_3^n)(v_3^n - \mu_3^n)] \end{bmatrix}$$

$$V_n = [v_1^n, v_2^n, v_3^n], \mu_i^n = E(v_i^n), i \in \{1, 2, 3\} \quad (6.2)$$

本システムにおいて、 $v_1, v_2, v_3$  は 3 次元速度ベクトルの  $x, y, z$  成分  $v_x, v_y, v_z$  である。次に行列  $A_n$  のノルムを求め、これを動きの特徴量とする。 $A_n$  のノルムは次式 6.3 で計算できる。

$$Space_n = \|A_n\| = \max_{1 \leq j \leq 3} \sum_{i=1}^3 |a_{ij}|$$

ここで、 $a_{ij}^n$  は  $A_n$  の  $ij$  要素 (6.3)

#### (3) Time(時間的特徴)

Time 特徴量は身体の突発的な動きや、継続的な動きから警戒心理を表現する。モーションが急加速、急停止しているか調べ特徴量とする。モーションのフレーム数を  $F$ 、フレーム  $f$  におけるエンドノード  $n$  の加速度を  $a_n(f)$  とすると、Time 特徴量は次式 6.4 で計算できる。

$$Time_n = \frac{1}{F} \sum_{f=1}^F \left| \frac{d}{df} a_n(f) \right| \quad (6.4)$$

次にシェイプにおける特徴量抽出方法を説明する。シェイプ特徴は水平面(TablePlane), 前額面(DoorPlane), 矢状面(WheelPlane)における各エンドノード(手足)のルートノード(腰)からの散らばり具合であると仮定する。簡単のため、水平面, 前額面, 矢状面は、それぞれ横(x軸)方向, 縦(y軸)方向, 奥行き(z軸)方向であるとする。各方向のシェイプ特徴は、ルートノードから各エンドノードの距離の二乗平均平方根を各フレームについて求めたすべてのフレームにおける平均値とした。モーションのフレーム数を  $F$ 、エンドノードの数を  $N$ 、フレーム  $f$  におけるエンドノード  $n$  の 3 次元座標値を  $P(n, f)$  とすると、各シェイプ特徴量は次式 6.5~6.7 で計算できる。

$$TablePlane = \frac{1}{F} \sum_{f=1}^F \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (P_x(n, f) - P_x(root, f))^2}, \quad (6.5)$$

$$DoorPlane = \frac{1}{F} \sum_{f=1}^F \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (P_y(n, f) - P_y(root, f))^2}, \quad (6.6)$$

$$WheelPlane = \frac{1}{F} \sum_{f=1}^F \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (P_z(n, f) - P_z(root, f))^2}. \quad (6.7)$$

### 6.4 遺伝子表現

ラバン身体動作表現理論の特徴量を遺伝子として表現する。以下に、実験システムでの遺伝子表現を説明する。モーションの両手, 両足, 胴体の計 5 つのエンドノードに着目する。遺伝子は、エフォートが各エンドノードに 3 種類、シェイプが 3 種類で 18 個の染色体により構成される。対立遺伝子はモーションデータベースから割り当てられた一意なインデックス番号とする。データベースにあるモーションの数が  $N$  個だった場合、対立遺伝子の値は 0 から  $N-1$  の値になる。図 6.4 に、ラバン身体動作表現理論の特徴量から遺伝子を表現した例を示す。

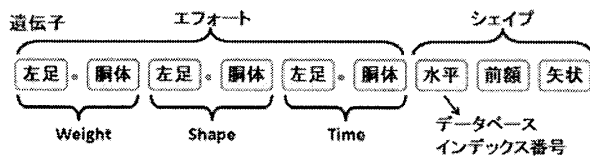


図 6.4 : エフォート・シェイプ特徴量の遺伝子表現

### 6.5 システムの実装

最後に、実験システムのインタフェースを説明する。図 6.5 にシステム画面を示す。画面中央に検索結果モーションが表示される。利用者は、各モーションに対し評価値を付与する。評価による利用者の負担を増やさないため、評価による利用者の負担を増やさないため、評価は"悪い", "普通", "良い"の 3 段階にしている。サムネイル上のマウスクリックにより評価が行える。左クリックに"良い"評価が、右クリックに"悪い"評価が割り当てられている。また、初期評価値は"普通"になっており、表示された全てのモーションに対し評価を付与しなくてもよい仕組みになっている。評価しなかったモーションは自動的に"普通"の評価になる。

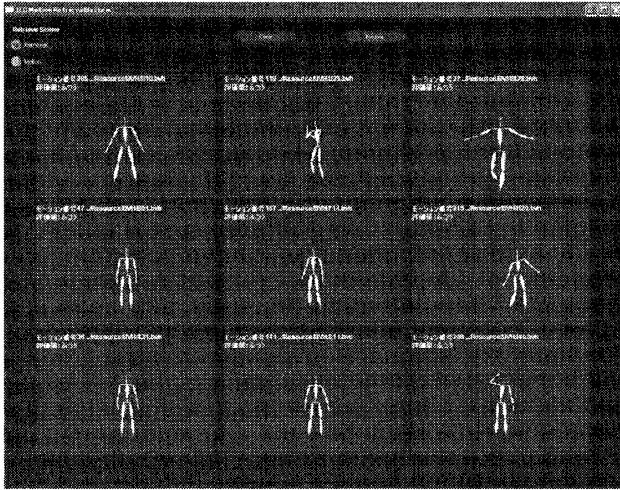


図 6.5 : モーション検索システム画面

## 7. まとめ

本論文では、対話型進化計算によるモーションシステムを構築した。具体的には、モーションを作成、編集、検索する際、用途に応じモーションを遺伝子化した。遺伝子化することで遺伝的アルゴリズムによる進化計算ができるようになる。システムの進化計算結果を人間が評価することで、専門的な知識がなくともモーションの作成、編集、検索を可能にした。

モーション作成に関しては、既存モーションに比べ短いフレームを持つ部分モーションを連結させることでモーションを作成した。複数の既存モーション間で類似しているフレームを探し、分割したものを連結するモーションに利用した。これにより、異なるモーション間で連結させた場合でも違和感なく遷移させることができた。各部分モーションに対し一意なインデックス番号を割り当て、これを遺伝子の構成要素とすることでモーションを遺伝子化した。既存モーションの先端と終端に位置する部分モーションだけは例外で、連結できるフレームが1箇所しか存在しない。進化計算時に例外処理を行い、対話型進化計算によりモーションを作成した。

モーション編集に関しては、既存モーションに信号処理を行うことでモーションを編集した。信号処理によりモーション信号を多重解像解析により、複数の周波数成分に分解した。各周波数成分に対し重みを付けることでモーションの波形を変化させた。変化させた各周波数成分を再構成することで、既存モーションとは異なるモーションを生成する。重みを遺伝子の構成要素とすることでモーションを遺伝子化した。これにより、モーション信号を直接編集するのではなく、システムが提供したモーションに対して評価を付与するだけで既存モーションを編集できた。

モーション検索に関しては、ラバン身体動作表現理論からモーションの特徴量を抽出し、対話型進化計算によるコンテンツベースの検索を行った。ラバン身体動作表現理論が定義している身体の特徴であるエフォートとシェイプを特徴量として抽出し、これを遺伝子の構成要素として遺伝子化した。エフォートとシェイプは身体動作時の心理的状態と結び付けられており、利用者の検索イメージとの対応付けができた。また、進化計算を行うため以前の検索結果

を引き継ぐ特殊な検索もできた。これにより、検索イメージに合わない要素を排除しながら検索することが可能になった。

解決すべき問題点としては、対話型進化計算に共通することだが、利用者が納得いくまで何度も評価し、進化させ続ける必要があることである。遺伝子の構成を簡単なものにし解の空間を狭くした場合、利用者が行う評価の回数は減少する。しかし、利用者が納得のいく解は出現しにくくなる。遺伝子の構成を複雑にすれば、これと反対のことが言える。遺伝子の表現は、対象データと用途によりいくらかでも考えられる。対話型進化計算のシステムを構築する場合、それらに沿った遺伝子表現を考えることは非常に重要である。

対話型進化計算技術が広く利用されるためには、応用分野の拡大と、分野ごとに有効な評価手法が必要である。今後、新しい応用分野を考慮し、その分野での評価手法を考えていきたい。

## 参考文献

- [1] Lucas, K., et al, Motion graphs., Proceedings of ACM SIGGRAPH 2002, pages 473-482, 2002.
- [2] Bruderlin, A., and Williams, L., Motion signal processing., Proceedings of the 22<sup>nd</sup> annual conference on Computer graphics and interactive techniques, pages 97-104, 1995.
- [3] Witkin, A., and Popovic, Z., Motion warping., Proceedings of the 22<sup>nd</sup> annual conference on Computer graphics and interactive techniques, pages 105-108, 1995.
- [4] Yu, T., et al., Motion retrieval based on movement notation language., Computer Animation and Virtual Worlds, Vol 16, Issue 3-4, pages 273-282, 2005.
- [5] Takagi, H., Interactive Evolutionary Computation : Fusions of The Capabilities of EC Optimization and Human Evaluation., Proceedings of the IEEE, Vol. 89, No. 9, pages 1275-1296, 2001.
- [6] Andou, D., et al., Computer Aided Composition for Contemporary Classical Music by means of Interactive GP., The Journal of the Society for Art and Science, Vol. 4, No. 2, pages 77-86, 2005.
- [7] Cho, S., Emotional Image and Musical Information Retrieval With Interactive Genetic Algorithm., Proceedings of the IEEE, Vol. 92, No. 4, 2004.
- [8] Nishino, H., et al., A synthesized 3DCG contents generator using IEC framework. IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, pages 5719-5724, 2004.
- [9] Wakayama, Y., Takano, S., Okada, Y. and Nishino, H.: Motion Generation System Using Interactive Evolutionary Computation and Signal Processing, Proc. of 2009 International Conference on Network-Based Information Systems (NBIS2009), IEEE CS Press, pp. 492-498, August 19-21, 2009.