

キャラクターの特徴を加味したアニメーションシーン生成手法

An animation scene generation method with various feature of characters

本林正裕 雨宮陽介 原口誠
Masahiro Motobayashi Yousuke Amemiya Makoto Haraguchi

北海道大学大学院工学研究科電子情報工学専攻
Division of Electronics and Information Engineering, Hokkaido University

This paper presents a framework for synthesizing the target motions of human characters with various feelings by assimilating the character's motion to motion data stored in a database. Our assimilation process is divided into three subprocesses: identifying partial motions of the source motions with parts of the target, generating complementary motions for connecting the partial ones smoothly, and adjusting the target to make the character behave naturally. As there exist enormous combinations of the partial and the complementary motions, we have to find a pair of those. For this purpose, we consider a search procedure based on A* search method taking account of the notion of the amount of energy change on muscles. The procedure is guided by a cost function that estimates the amount needed to transform one state into another. Some experimental results to show the effectiveness of our approach are also presented.

1. はじめに

3DCG アニメーションにおける自然な人型キャラクターの動作を作成するための手法としてモーションキャプチャデータやアニメータによるアニメーションを再利用することが有効であり、様々な手法が提案されている。例えば Liu et al. [Liu 02] は、ユーザが作成した簡単なアニメーションを参考にし、様々な制約条件を満足する自然な動作を最適化問題を解くことにより生成する。この手法によって動作を生成するためには比較的多くの知識や手間が必要とされ、技術や知識を持たないユーザにとっては負担の多い作業となり得る。一方、ユーザに手間や知識を要求しない技術の場合には、データやシステムによって生成できる動作が制限されるという問題がある。例えば、Unuma et al. [Unuma 93] は、アニメーションを作成するためにユーザに必要とされる負担は小さいが、動作生成に用いる動作データとそのデータと他の動作との差異を表す成分データを予め用意しておかなければならない。

これらの問題を同時に解決することは容易ではないと思われる。なぜならば、必要なデータを予めすべて用意することは不可能であり、またすべての動作を生成できるシステムを構築することは困難だからである。そこで [本林 02] では、ユーザが望む動作を合成するためにそのお手本となる規範動作を与え、それをできるだけ容易に修正するための枠組みを提案した。具体的には、ユーザは合成したい動作(目標動作)の初期状態、目標状態、再利用の対象となる規範動作データをシステムに入力し、システムは目標動作と部分的に類似している動作データの一部分を取り込むことにより、初期状態から目標状態を達成できる動作を生成する。特に、類似している規範動作を部分的に取り込む過程は、動作の模倣による同化と捉えることが可能なことから、この枠組を**同化動作生成手法**と命名している。

ここで、動作の類似を表わすためには様々な尺度が考えられる。[本林 02] での動作の類似とは、規範動作と目標動作間で部分動作を共有する現象をさし、同一の特徴を持つキャラクターは、同じ部分動作を共有することを意味する。この場合、動作中の別の部分は異なる動作でも構わない。例えば、同一キャラ

クタにおける、「立ち上がる」と「椅子から立ち上がる」は似ている動作である。本研究では上記に加えて、さらに、体節強度や筋力等が大幅に異なるキャラクター間で動作が共有できる場合を考える。ただし、ここでの共有とは、動作を行うキャラクターのパラメータの違いを除き同じ動作であることを意味する。例えば、筋力の強いキャラクターの歩行と標準キャラクターの歩行は、同じ「歩行動作」のインスタンスという意味で似ているとみなされなければならない。しかし同時に、その外見上の動作は微妙に異なり、それは、実際の間接の動かし方の違いに起因している。本論文では、この2種類の類似性に基づく同化動作生成を同一のメカニズムで実現する。

動作データを様々な体格のキャラクターに適用する多くの手法が提案されているが、[本林 02] や本論文において主要な処理となる、目標動作を規範動作の一部に適合・同化させるということは考慮されておらず、動作データの幾何学的な制約条件を重視している。例えば、Gleicher [Gleicher 98] は、体格の異なるキャラクターに対して、体節の長さの違いを考慮した動作データの変換手法を提案している。一方、本研究では、特徴の異なるキャラクターの動作の一部で、目標動作に再利用可能な部分動作を決定するための操作を必要とする。このためには、単に長さの違いを考慮するだけでは不十分であり、ある程度の力学的条件のもので「自然さ」を追求する必要がある。本手法ではキャラクターの筋力、体節強度、重心位置を変化させることにより、擬似的に感情に類似した状態を作り出し、様々な感情を筋力、体節強度、重心位置の組み合わせで表現できるキャラクターを定義し、これらのキャラクターを登録するキャラクターデータベースの構築を行うことを目指している。例えば、「悲しい」を表現するために、体全体の筋力を小さくし、胸部の重心位置を背中の方に移動させる。あたかも、キャラクターが「荷物を背負っている」ということを、擬似的に「悲しい」という感情に割り当てることにより、一つの「悲しい」という感情を表現する。つまり、感情を表す言葉に含まれる物理量(体の部分と重い等)を用いて、感情を表す言葉を物理量で表現し、擬似的に感情を表現することを目指す。

連絡先: 雨宮陽介 北海道大学大学院工学研究科電子情報工学専攻, 060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目, 011-706-7161(Tel,Fax), amemiya@db-ei.eng.hokudai.ac.jp

2. 同化動作生成手法

本研究では、予め用意されている動作データ群から生成したい動作に最も近い動作データをユーザに選択してもらい、それを全体・部分的に模倣(再利用)することで動作を生成するという戦略を採用している。しかし、動作データを採取した人物と特徴の異なるキャラクタに動作データを適用する場合、一般に、直接データを適用してもキャラクタらしい自然な動作を生成することはできない。これは、例えば筋力の強い人が筋力の弱い人と同じ動作をしようとした場合のように、体節強度や筋力等が異なる場合には体節や筋肉にかかる力等の負担が変化するために同一の動作をすることが容易ではないためである。したがって、特徴の異なるキャラクタに動作データを適用する場合には、同一の動作を行なうことができないため、元の動作の特性(各筋肉、関節、体節に作用するデータから得られるおおよその力及びその時間変化)を部分的に模倣した動作を生成する。その際に、キャラクタにとって可能な動作を生成するために、身体の各部(筋肉や体節)にかかる負担を考慮し、その負担をできるだけ小さくする、という処理を行なう。すなわち本手法では、身体の各部にかかる負担が小さい動作が**自然な動作**であるとする。このような負担の大きさは**コスト**によって表現する。コストはキャラクタがその動作を実行する場合に各筋肉、体節にかかる負担をエネルギーの変化量によって表す。

以下では本手法で考慮するコスト、そしてコストを考慮した動作生成処理について述べる。

2.1 コスト関数

コスト関数は、キャラクタが動作を行なう際に各筋肉に必要とされる力を考慮したものであり、またその結果構造にかかる力を考慮したものである。簡単のため、関節は一つの筋肉によって動作するものとする。そして、キャラクタの各部に作用する力は、重力、接触による反力、運動による慣性力、隣接体節から伝播される力のみを考慮する。

コスト関数を実際に設計するにあたって、本研究は力学的に完全な最適性を保証するコスト関数が必ずしも好ましいものとは限らないとの立場にたっている。つまり、人が他人の動きを模倣する多くの場合にそうであるように、必ずしも「完璧」な模倣が必要なわけではなく、模倣した動作が自然な動作であること、すなわち模倣した動作が例え完璧な模倣でなくても、身体にかかる負担の少ない動作であることが重要だと考えている。

この観点から述べれば、動作データのうち具体的にどの部分を再利用するかについては、多少の最適性を犠牲にしても比較的良い模倣がしやすい部分を高速に求めることに重きをおく。そのために、計算が比較的安価な「見積もりコスト」を用いる。また、そうした計算により求められた再利用可能な部分動作から実際の目標動作を求める際には、より厳密な「遷移コスト」を用いて、より力学的に精度の高い動作合成を実現する戦略を本研究では採用している。

遷移コストは、状態 S から S' に遷移する際、本研究で想定している4つの力により筋肉 m に必要とされるトルク $\vec{\tau}_m(S, S')$ 、体節 b に作用する力 $\vec{\phi}_b(S, S')$ を考慮したコストである。筋肉の総数 M 、体節総数 B 、状態 S での関節角度 $\vec{\theta}_m(S)$ 、体節位置 $\vec{p}_b(S)$ とした場合の遷移コスト $g(S, S')$ は以下の式によって計算する:

$$g(S, S') = g_\tau(S, S') + g_\phi(S, S'), \quad (1)$$

$$g_\tau(S, S') = \sum_{m=1}^M \left(\vec{\tau}_m(S, S') \cdot \frac{\vec{\theta}_m(S') - \vec{\theta}_m(S)}{dt} \right)^2, \quad (2)$$

$$g_\phi(S, S') = \sum_{b=1}^B \left(\vec{\phi}_b(S, S') \cdot \frac{\vec{p}_b(S') - \vec{p}_b(S)}{dt} \right)^2. \quad (3)$$

この式は、動作を行なう際に筋肉、体節に作用するエネルギーの変化量を求めるために用いる。

見積もりコストは遷移コストで考慮している4つの力のうち、重力、慣性力のみを考慮する。 $\vec{N}_m(S, S')$ 、 $\vec{F}_b(S, S')$ をそれぞれこの2力を考慮して計算したトルク、体節に作用する力、とした場合見積もりコストは以下の式によって計算する:

$$h(S, S') = h_N(S, S') + h_F(S, S'), \quad (4)$$

$$h_N(S, S') = \sum_{m=1}^M \left(\vec{N}_m(S, S') \cdot \frac{\vec{\theta}_m(S') - \vec{\theta}_m(S)}{dt} \right)^2, \quad (5)$$

$$h_F(S, S') = \sum_{b=1}^B \left(\vec{F}_b(S, S') \cdot \frac{\vec{p}_b(S') - \vec{p}_b(S)}{dt} \right)^2. \quad (6)$$

ここで、見積もりコストは、計算時間の短縮と A^* 探索の許容条件 $h(S, S') \leq g(S, S')$ を考慮して設計した。

このようなコスト関数を用いる様々な手法がある。例えば、Rose et al. は関節トルクを考慮した目的関数を用いている [Rose 96]。Cohen はラグランジアンを用いて目的関数を設計している [Cohen 92]。これらに対して、本手法では関節トルクに加えて体節に作用する力を考慮する。関節トルクは動作にとって重要な要素であるが、様々な特徴の違いを表すためには不十分である。そこで、トルク計算では無視されてしまう体節に作用する力を考慮することにより、体節強度のような特徴の違いをより明確に表すことができると考えている。

2.2 動作生成処理

ユーザによって与えられたキャラクタに適した動作を生成するために、まず、動作データを容易に模倣できるキャラクタ(このキャラクタを**標準キャラクタ**と呼ぶ)の動作を生成するため以下の2つの処理を行う:

同定処理 与えられた動作データに含まれる再利用することが可能な**部分動作**を同定する(図1)。

補足処理 同定処理で得られた部分動作間を滑らかに接続する動作(**補足動作**)を生成する(図2)。

次に生成した動作をユーザによって与えられたキャラクタに適用する:

適用処理 標準キャラクタの動作を異なる特徴のキャラクタに適用し、動作が自然になるように調整する。

2.3 同定処理

与えられた初期状態 I 、目標状態 G から再利用できる規範動作 $\mathcal{M}_S = (S_1, \dots, S_f)$ の部分 \mathcal{M}_R を同定する(図1)。そのために、再利用可能な部分動作の最初の状態 S^* と最後の状態 S^{**} を同定する。これらの状態は以下のように同定する。 \mathcal{M}_S に含まれる状態 $S_i, S_j (1 < i < j < f)$ に対し、 $h(I, S_i), h(S_j, G)$ を最小にする状態 S_i, S_j を各々 S^*, S^{**} とする。

同定する部分動作は目標動作に対して必ずしも完全な動作でなくても構わない。この処理での目的は、規範動作をそのまま利用するよりは良い部分を見つけることである。そして、この不完全さは補足処理によって補う。

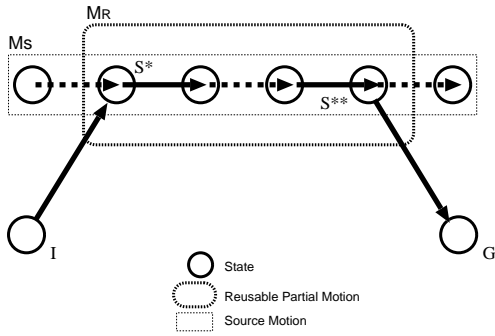


図 1: 再利用可能部分動作の同定

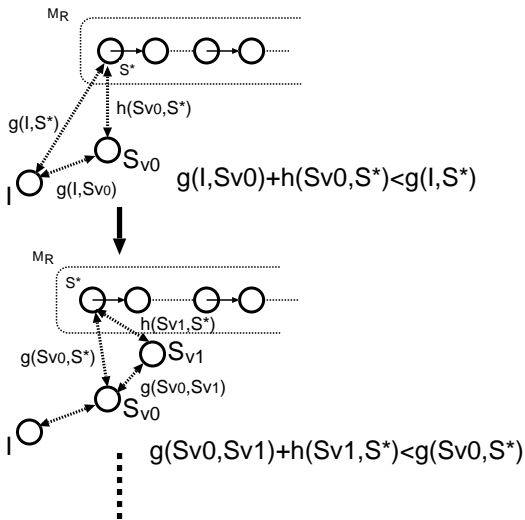


図 2: 中間状態の挿入

2.4 補足処理

同定処理で得られた部分動作 $M_R = (S^*, \dots, S^{**})$ に対して、目標動作 M_T は、 $M_T = (I, S^*, \dots, S^{**}, G)$ となる。 M_R は規範動作の一部であるため自然な動作であるが、動作 $M_0 = (I, S^*)$ と $M_1 = (S^{**}, G)$ は、自然な動作である保証はない。そこで、 I と S^* の間、 S^{**} と G の間に適当な中間状態を挿入することによって M_0, M_1 を自然な動作を試みる。本論文では、自然な動作の一例として遷移コストの小さい動作を考えるため、遷移コスト $g(I, S^*), g(S^{**}, G)$ を小さくする状態が中間状態として選択される。

具体的な処理は次のように行う。中間状態を挿入する動作を $M = (s_0, s_1)$ とする。まず、 M において最も遷移コストが大きい関節 j を探す。次に、 s_0 において、 j に隣接する関節の角度を変化させ、その状態を s'_0 とする。もし $g(s_0, s'_0) + h(s'_0, s_1) < g(s_0, s_1)$ ならば、 s'_0 を中間状態の候補に加える。この処理を遷移コストが大きい順にすべての関節に適用する。そして、中間状態の候補の中で最小遷移コストの状態が挿入する中間状態 S_v となる。このような中間状態をいくつか挿入することによってよりコストの小さい動作を生成することができる。

結果的に生成される動作 $M_{C_0} = (I, S_{v_0}^0, S_{v_1}^0, \dots, S_{v_k}^0, S^*)$ 、 $M_{C_1} = (S^{**}, S_{v_0}^1, S_{v_1}^1, \dots, S_{v_l}^1, G)$ を補足動作と呼ぶ。図 2 は中間状態を生成する際のイメージを表す。

2.5 適用処理

最後に生成された目標動作をキャラクタに適用する。目標動作は標準キャラクタのための動作であるため、異なるキャラクタの特徴に合うように修正する必要がある。しかし動作は関節角の時間変化で表現されているため、動作からキャラクタの特徴を認識することは難しい。

関節角の時間変化は、筋肉が発する力とキャラクタの特徴によって決定される。このために、本手法では動作によって身体の各部に働く力を得ることによって特徴を抽出することができる。したがって、働く力が各部に及ぼす負担を模倣する、すなわち適用した結果のコストが標準キャラクタのコストと一致するように動作を修正するという方針を取る。具体的には、以下のような処理を行なう：

1. 目標動作 $M_T = (S_I, \dots, S_G)$ をキャラクタに適用し、遷移コストを計算する
2. M_T の各状態 S_i ($I < i \leq G$) に対して、

$$\begin{aligned} & \left| \frac{1}{C'_m} g_\tau(S_{i-1}, S_i) - \frac{1}{C'_m} g_\tau(S'_{i-1}, S'_i) \right| \\ & + \left| \frac{1}{C'_b} g_\phi(S_{i-1}, S_i) - \frac{1}{C'_b} g_\phi(S'_{i-1}, S'_i) \right| \end{aligned}$$

を最小化する状態 S'_i を探す。ここで、 C_m は標準キャラクタの筋肉 m の筋力パラメータ、 C_b は標準キャラクタの体節 b の体節強度パラメータとし、 C'_m, C'_b はそれぞれ適用するキャラクタの筋力パラメータ、体節強度パラメータとする。

3. キャラクタの感情表現と同化動作生成処理

キャラクタの感情表現を可能にするために、先行研究 [Unuma 93] では、標準的な動作と感情を伴った動作間の差分を取ることで、感情成分を抽出する。この感情成分を調整して標準的な動作に加えることによって、感情を持った動作を生成することを可能にしている。しかし、予め感情成分を抽出しておかなければならないこと、感情成分は抽出した動作のためのものであり、他の動作に適用することは困難であると考えられることから、様々な動作に対して広く適用することのできる感情表現方法が必要となる。

本研究では、感情を言語に変換し、言語から物理量を抽出して、キャラクタの体格的特徴を変化させることにより、擬似的ではあるが動作に感情を付与することを目指す。例えば、「足取りが重い」という言葉は、「疲れている」感情を表す言葉である。「疲れている」と「足取りが重い」を対応させたとき、キャラクタの右足、左足を重くしたキャラクタを「疲れている」を表現するキャラクタとする。このように定義したキャラクタに対して、前節で説明した同化動作生成手法を適用することによって、動作データに依存せずにキャラクタの動作に適用することができる。この表現手法は、動作データに依存しないため、感情、言語、物理量間の関係を明らかにすることができれば、様々な動作に感情を付与することができる。

表 1 に感情を表現するキャラクタの一例を示す。

感情	言葉	変化
悲しい	荷物を背負う	<ul style="list-style-type: none"> ● 胸部の重心を後ろに移す ● 体全体の筋力を 1/2 にする
威張る	ふんぞり返る	<ul style="list-style-type: none"> ● 胸部の重心を前に移す ● 体全体の筋力を 1.5 倍にする

表 1: キャラクタの定義

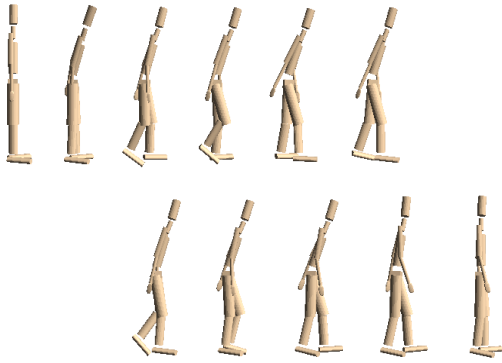


図 3: 動作生成例:「悲しげに歩く」

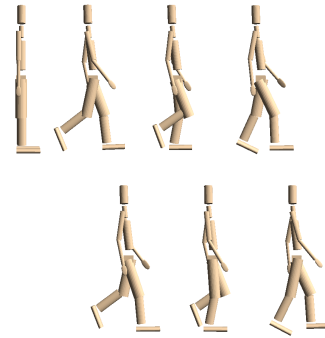


図 4: 動作生成例:「威張って歩く」

part	weight(割合)	length(m)	C_b	C_m
whole body	60kg(100%)	1.85	-	-
head	7.8kg(13.0%)	0.18	1.0	1.0
thoracic	14.40kg(24.0%)	0.27	1.0	1.0
lumbar	7.44kg(12.4%)	0.13	1.0	1.0
pelvis	6.60kg(11.0%)	0.24	1.0	1.0
upperarm	1.80kg(3.0%)	0.29	1.0	1.0
forearm	0.60kg(1.0%)	0.29	1.0	1.0
hand	0.48kg(0.8%)	0.11	1.0	1.0
thigh	6.00kg(10.0%)	0.43	1.0	1.0
calf	2.40kg(4.0%)	0.52	1.0	1.0
foot	0.60kg(1.0%)	0.14	1.0	1.0

図 5: 標準キャラクタ

4. 評価実験

本論文では、以下の条件で動作実験を行った:

- ここで、用いるキャラクタは 1 代表点、20 関節、21 体節、21 筋肉、58 自由度を持つ。
- 標準キャラクタは図 5 のように設定する。
- キャラクタの筋力パラメータ、体節強度パラメータは簡単のため、標準キャラクタの値をそれぞれ 1 とし、それに対する割合で与えることとする。

表 1 の各キャラクタに対して、動作「歩く」を適用した動作生成例を図 3, 4 に示す。

5. 本手法のまとめ

本章ではキャラクタの体格的特徴を変化させることにより、キャラクタの感情や状況を表現することを目指した一手法を提案した。今回は、試験的に 2 つのキャラクタに対して、動作に感情を付与する実験を行った。その結果、このような手法を用いることにより、動作データに対して感情を付与することの可能性を見出すことができたと考えている。

しかし、キャラクタの感情を加味した動作、例えば「悲しげに歩く」動作を生成したが、「悲しい」ということと同時に「疲れている」ような動作にも見えた。このことから、モーションキャプチャシステムを用いて様々な感情を持った動作を採取し、その動作とパラメータ間の関係を明らかにすることが必要である。現在この方法について検討中である。

参考文献

- [Cohen 92] Cohen, M. F.: Interactive Spacetime Control for Animation, *Computer Graphics, Proceedings of SIGGRAPH 92*, pp. 293–302 (1992)
- [Gleicher 98] Gleicher, M.: Retargetting Motion to New Characters, *In Proceeding of ACM SIGGRAPH '98*, pp. 33–42 (1998)
- [Liu 02] Liu, C. K. and Popović, Z.: Synthesis of Complex Dynamic Character Motion from Simple Animations, *In Proceedings of ACM SIGGRAPH 2002* (2002)
- [Rose 96] Rose, C., Guenter, B., Bodenheimer, B., and Cohen, M. F.: Efficient Generation of Motion Transitions using Spacetime Constraints, *Computer Graphics*, Vol. 30, No. Annual Conference Series, pp. 147–154 (1996)
- [Unuma 93] Unuma, M. and Takeuchi, R.: Generation of Human Walking Motion with Emotion for Computer Animation, *Trans. Inst. Electron. Inf. Commun. Eng. D-II(Japan)* (1993)
- [本林 02] 本林正裕, 原口誠: モーションアナロジーに基づくアニメーションの同化動作生成手法, *Visual Computing グラフィックスと CAD 合同シンポジウム*, pp. 67–72 (2002)