

三次元人型キャラクタ関節の特徴抽出

荒木義明

慶応義塾大学政策・メディア研究科

Abstract: 三次元コンピュータグラフィックスを用いたキャラクタ表現の用途が多様化するなか、キャラクタデータを再利用するニーズが高まっている。これにこたえて H-anim[1]では人間記述の標準化が行われている。だが従来のキャラクタ製作、操作現場でのレガシーアプリケーションには人型の抽象度を持たないものもあり、標準記述との対応が問題となっている。われわれは、根本的な課題として、関節の対応問題を提示する。そしてこの問題を解決するために、レガシーアプリケーションから得られる関節の座標と関節間の階層関係をあらわすデータを利用して、自動的に三次元人型キャラクタ関節の特徴抽出をする方針を検討する。

Extraction of 3D Humanoid Articulations

Yoshiaki Araki

Graduate School of Media and Governance, Keio University

Abstract: H-anim has already been proposed to standardize the description of humanoid articulations, however, it is still difficult to map h-anim articulations to various data generated by creators using existing legacy applications. This paper defines a problem to extract meaningful humanoid articulations data for character animations and proposes methods how to solve the problem. To support such legacy data, we only use the limited information, the coordination of joint centers and hierarchical relations among joints of the articulations.

1 はじめに

近年、三次元コンピュータグラフィックスを用いたキャラクタ表現の用途が多様化してきている。映画ではキャラクタが生命を吹き込まれた身振りをおこない、三次元アクションゲームではユーザとのインタラクティブな操作でアイテムを拾い集め、三次元マルチユーザワールド[2][3]ではユーザの化身であるアバタとなってコミュニケーションのための感情表現をする。

一口にキャラクタといってもその作り方は様々で、これまで多くの研究者や企業、クリエイタによって、独自に表現されてきた。そのなかでも記述形式を定義し、公開しているものとして、Jack システム[4]や、HUMANOID[5]などが挙げられる。

様々な用途ごとにキャラクタが作られていく中で、キャラクタデータを再利用するニーズが高まっている。他のアプリケーションで作成したアニメーションデータを自分のキャラクタに適用できれば、アニメーションデータを作成する手間が省ける。体型や関節構造が異なるアニメーションデータでも低起用する先のキャラクタ骨格との対応がとれていれば、再適用できる手法 [6, 12, 13, 14] も提案されている。

さらに、キャラクタのインタラクティブ環境での利用が進むにつれ、あらたなニーズも生まれている。例えば、異なるアプリケーションでひとつのキャラクタの形状データを再利用できれば、ユーザはお気に入りのキャラクタをつれまわすことで、そのキャラクタにアイデンティティを感じることができるだろう。特にマルチユーザワールドにおいては、異なるサービスのワールド間に同一のアバタを使えることが大切となる。

これらのキャラクタデータを再利用するニーズにこたえて H-anim[1]による人間記述の標準化が行われている。H-anim は Web における三次元記述の標準化団体 Web3D のワーキンググループとして標準化が進められ MPEG4 の SNHC における Body animation の記述 [7] にも採用されている。

ただし、従来のキャラクタ製作、操作現場でのレガシーアプリケーションがすべてこの標準記述に対応できるわけではない。レガシーアプリケーションが人型の抽象度を持っていれば、一旦標準形式との対応を定義すればよい。しかし多くのレガシーアプリケーションでは、一般的な3次元オブジェクトを作成するためのもので、人型の抽象度を持っているわけではない。

われわれは標準記述との対応処理における解決すべき問題は、関節対応問題、標準姿勢対応問題、形状表現対応問題の三つに問題を分割できる。関節対応問題では、レガシーアプリケーションのデータから人をあらわす関節構造を抽出し標準記述の関節と対応づける。キャラクタの標準姿勢の対応問題では、レガシーアプリケーションによって、「気を付け」の姿勢や、両手を水平に保った姿勢など基準となる姿勢が異なるためその違いを検出しアニメーションデータを修正する。形状表現の対応問題では、自由曲面を用いた表現やポリゴン表現などのことなる形状表現間での変換が必要となる。

われわれはこれらの問題の中でもっとも根本的な課題として関節対応問題に取り組む。これらの対応問題を明確にするために問題解決に必要な情報、与えられる情報の内容、問題の解の条件、の3つの要求について検討した。特に問題解決に必要な情報として、どのレガシーアプリケーションでも引き出せる関節の座標と関節間の階層関係を限定した。

関節対応作業は、人が目を使って直感的に行えばおおざっぱな対応は取れるが、人手で行うのは手間がかかるうえ、細かい対応まで取る場合には曖昧性もありヒューマンエラーを誘発する恐れもある。関節の対応で曖昧性が含まれるのは、多くのレガシーアプリケーションと標準記述との間で関節が一对一対応しないためである。また、関節の対応にヒューマンエラーが起りうるのは、関節に使われている単語が普段はみられない解剖学から由来した長い学名であるためである。さらに母国語を英語にもたない日本人からすると親しみのない記号

はタイプミスを誘発する。

そこで、関節対応問題を解決するために、われわれは処理の自動化が必要となると考えた。人が直感的に判断する場合は人体構造に対する知識をもっているため、おおざっぱに捉えることが得意である。自動プログラムに人間の直感と同等の機能を持たせようとするれば、与えられたデータの値ひとつひとつを単に検討するだけでなく、それらを総合的に取り扱い、裏に潜む意味が汲み取る必要がある。

この論文では、レガシーアプリケーションのデータから三次元人型キャラクタの特徴抽出を自動化する方針を提案し検討する。特徴抽出では以下の三段階の処理がある。はじめの処理では、座標や構造の特徴のある関節だけを特定する。そして次の処理でh-animの規定する標準姿勢であることを前提として、詳細部分を特定する。最後に特定済みの関節を前提として、用意した姿勢のテンプレートとの適合を調べる。もし姿勢が適合すればすべての処理を終了し、適合しなければ別のテンプレートを選び再び二番目の処理を繰り返す。

2 三次元人型キャラクタの関節対応問題

様々な人型をした三次元キャラクタデータの関節に対して、標準記述に則した関節を対応付ける問題を提示する。まず関節対応問題が想定している用途を明らかにし、それらの要求を示す。

2.1 関節対応問題に対する要求

関節対応問題に対する要求として具体的な以下の三つの要求に分けて検討する。検討する要求は問題解決に必要な情報、与えられる情報の内容、問題の解の条件についてである。特に後の二つの要求は内容によって関節対応問題は簡単にもなるし難しくもなる。われわれは、実際に利用される現場からの要求をまとめ、なるべくそれらの要求を同じ処理過程で解決できるフレームワークを示す。

2.1.1 問題解決に必要な情報に対する要求

キャラクタデータはレガシーアプリケーションごとに異なるが、どのレガシーデータも基本的なアニメーション機能を持つことを前提とすれば、共通した最低限の情報を導き出すことができる。その最低限の情報として、関節の階層関係と標準姿勢時の関節回転の中心絶対座標を仮定した。

a. 関節の階層関係

関節の階層関係とは、子の関節の座標系を親関節の座標系の上に相対的に定義する三次元コンピュータグラフィックスの基本概念である。例えば、h-anim では r_shoulder(右肩)と r_elbow(右肘)は、右肩を親とした階層関係を持つ。この関係により右肩が移動すれば、右肘自体を動かす指定をしなく右肘が右肩に連動して動くことを表現できる

b. 標準姿勢時の関節回転の中心絶対座標

標準姿勢時における関節回転の中心絶対座標とは、階層関係ほど自明な概念ではないので、すこし説明を要する。人体の姿勢はすべてある姿勢からの相対的な変位として記述できる。標準姿勢とは、その人体が基本としている姿勢のことである。H-anim での標準姿勢はいわゆる「気を付け」の姿勢である。また標準姿勢における各関節の回転の中心座標とは、絶対座標系から測定される。H-anim の場合には、絶対座標の中心は両足底の中心に位置する。レガシーシステムが相対的な座標記述をしていてもこの絶対座標系から親子関係を手繰っていき相対座標をかけあわせることで算出できる。

2.1.2 与えられる情報の内容に対する要求

与えられる情報はどのような入力元を想定しているかによって、その内容は様々である。例えば、レガシーアプリケーションによって座標系や単位系などはまるで違う。さらにレガシーアプリケーションやそれを利用して扱うコンテンツの内容によって関節階層の複雑さが大きく異なる。

a. 異なる座標系のサポート

レガシーアプリケーションによっては座標系にいくつかのバリエーションがある。もっとも一般的な座標系は三次元記述の標準規格[8]で利用されている右手系のカルテシアン空間である。これの鏡写しになった左手系やZ軸とY軸を交換した座標系を利用したレガシーアプリケーションもある。

ただし、与えられる情報に含まれる人型キャラクタが左右対称であるため、これらの座標系の違いは大きな問題とならない。その理由は、どの座標系においても、X軸は常に左右方向と平行な軸であるためである。自動プログラムが左右の対称性を考慮するためには、どのレガシーアプリケーションから与えられる情報についても、含まれる関節の回転中心の座標であるX軸を対等に扱えばよい。

b. 異なる単位系のサポート

またレガシーアプリケーションによって、単位系が異なる場合がある。これは、日本やヨーロッパではメートル法を利用しているのに対してアメリカではインチを使っていることに由来する。レガシーアプリケーションによっては複数の単位系を切り替えて利用できるものもある。

ただし、単位が異なることで扱う大きさがかわっても、関節対応の処理に影響を及ぼすことがあってはいけいない。同じ単位系であっても、扱う大きさが異なる場合はあるためである。たとえば、背の高い人間でも赤ちゃんでは身長が大きく異なるが、どちらも人型として判断できる必要がある。

c. 異なる関節階層の複雑度のサポート

さらにレガシーアプリケーションによって関節階層の複雑さが大きく異なるケースがある。複雑度が異なる可能性として、人らしい形をしているが極端に関節が少ない場合や、逆に極端に数が多いもの、さらに人以外の様々な附属物がついたデータがありうる。

与えられる情報に含まれる関節数を少なくなる例として、体にセンサーを取り付けるタイプのモーションキャプチャシステムからのデータや三次元リアルタイムアクションゲーム用のデータがありうる。モーションキャプチャシステムの場合、腕や頭、足などの所要所にセンサーをつける。原理的にはセンサーの数を増やせば増やすほど人間の身体の滑らかな動きを取り込むことはできるが、センサーの大きさや費用を考慮すれば、センサーの数を増やすことは現実的ではない。また三次元リアルタイムアクションゲームにあらわれるキャラクタに関しても関節数を増やすことで表現力の向上をのぞめる。しかし、ゲームではリアルタイムで描画をする必要があるため、関節が多ければ多いほどアニメーションデータは肥大になり、計算コストやメモリコストがかかる。

つぎに関節数が増加する例として、クリエイターやデザイナーが人体骨格の仕様書を気にせず人の階層構造を作成した場合を取り上げる。例えばクリエイターが制約に縛られず思い描いたイメージを実現しようとすれば、自分自身が動きをつけ易い関節構造の骨格をつけるはずである。例えばそのクリエイターが人の軟体動物のような官能的動きを表現しようとすれば、多くの細かい関節構造をつけるはずである。また、デザイナーが仕様書を渡されているにもかかわらず、そのデザイナーがヒューマンエラーにより階層を多くつける可能性もある。

最後に、データに人の関節以外の様々な付属物が含まれる例として、非接触型のモーションキャプチャシステムや、クリエイターが人体の構造に縛られずにキャラクタを表現する場合がある。例えば、カメラを用いた非接触モーションキャプチャシステム[9]では、カメラ画像だけからの入力で被写体に対してマーキングを行わずに、被写体の関節構造を抽出する。カメラに映し出された人が手に道具を持って振り回していれば、道具と手の間も関節としてみなされる可能性がある。もうひとつの例として、多くのクリエイターが羽根や猫耳のように頭上についた耳、背鰭などの付属物をもったキャラクタを作成している。このようなキャラクタを三次元のキャラクタとして表現するときには、これらの付属物を関節構造として作成する事になる。

2.1.3 問題の解の条件に対する要求

関節対応の解の定義によって、もとめられる解の数は変る。解の定義を厳しくすれば、解の数を減らせるが、定義が厳しすぎると解が見つからない。

まずわれわれの求める解は、原則として H-anim が許容する人体構造であるとする。H-anim では全部で90個の関節を提示している。H-anim には階層構造の上下関係に整合性があり、関節階層の間に余計な関節が含まれなければ、90個の関節すべてを使わなくても構わないという規定がある。

ただし、この h-anim の規定だけで解を探した場合、冗長な解を含むことになる。例えば、与えられたキャラクタデータに関節が一つしか含まれない場合、可能な解は全関節数と同じ90個存在することになる。また、与えられたデータが背骨として三つの関節を持つ場合、三つの関節に対して h-anim で背骨に相当する関節のいずれかを割当てる必要があり、莫大な数の解が存在しうる。

そこで解の定義を狭める条件を付ける必要がある。先の与えられた関節が一つの例では、別に作られたアニメーションを適用できないことを理由に解から除外できる。また背骨が三つしかない場合には、h-anim 側で利用する関節に優先順位をつけて冗長な解を減らせる。H-anim では推奨の関節構造 LOA (Level Of Articulation) としてサブセットの人体構造の例を複数提示しており、LOA で利用されて頻度がその優先順位として捉えることができる。

また逆に解の定義を広げる必要がある場合もある。例えば、与えられたデータが 100 個の背骨をもっていた場合には、h-anim で用意されている関節を、間に余計な関節を挟むことなく配置することはできない。この場合を許容しようとすれば、その h-anim の制約をはずし、余計な関節を挟むことを許容することにすればよい。ただし、余計な関節は対応付けをせず、アニメーションの適用を行わないことが前提となる。

またわれわれの求める解は、与えられたデータから一部分の人体だけであるものとする。レガシーアプリケーションによっては、一度に複数体のキャラクタを扱える。二つのキャラクタが含まれる場合には、少なくとも二つの解が存在することになる。

さらに、人型キャラクタの特徴をもつ関節構造の解への要求に対する議論には、テクニカルな問題以外においてもある。例えば、先天的奇形や後天的障害者の関節構造に対する扱いが挙げられる。発生学[10]によれば一体に二体の関節が含まれる接着双胎や足がなく人魚のような関節構造を持つ尾側退化、6つ以上の指を持つ多指症などがある。

われわれはこの問題に対して、五体を解の必要条件として盛り込むことにする。与えられた関節構造が五体を有しない場合では、他で作成したアニメーションデータを部分的に割当てることができても、期待した動きを再現する可能性が低いためである。ちなみに、与えられたデータが五体を含むとは、両手、両足、頭、そしてそれらをつなぐ背骨に相当する関節をもつことである。

さらに解の定義の緩和として、手や足などのような対があるものには左右対称性を必要性として盛り込まないことにする。この理由は、手や足が「ある程度」左右対称でなくても期待した動きを再現する可能性があるためである。この条件の緩和により片方が義手や義足であった場合に階層構造が左右で異なっているにも適切な関節の対応がおこなえる。

3 われわれのアプローチ

与えられたデータに含まれるひとつひとつの値は確かなものではなく、移ろいやすい性質がある。例えば磁気式のモーションキャプチャでは関節の回転中心座標が初期設定時における姿勢の取り方によって変わってくる。また、非接触型のモーションキャプチャを用いた場合に、片手の肘関節を動かさなければその関節は検出されず、関節間の階層関係が期待通りになるとは限らない。

また与えられたデータの値ひとつひとつを単に比較するだけで人型のデータと人型ではないデータとの相違点を見つけることは難しい。データを視覚化して人間の目で判断すれば明らかに相違点を判断できることが、自動化プログラムにとってみればそれらの値ひとつひとつには意味が汲み取れない。

そこで与えられたデータを加工して間接的に利用することで、与えられたデータを総合的に判断することにした。データの加工としてわれわれは以下の三段階の処理として提示する。はじめの処理では、座標や構造的に特徴のある関節だけを特定する。そして次の処理で、h-anim の規定する標準姿勢であることを前提として、詳細部分を特定する。最後に特定済みの関節を前提として、用意した姿勢のテンプレートとの適合を調べる。もし姿勢が適合すればすべての処理を終了し、適合しなければ別のテンプレートを選び再び二番目の処理を繰り返す。

3.1 発生学のアナロジーに基づく特徴関節の特定問題

この処理では座標や構造的に特徴のある関節だけを特定する。先に解に対する要求で議論したように解には五体が含まれることを前提としており、この五体を特徴づける関節および関節群をあらたに決めた。ちなみに五体を含むとは両手、両足頭、背骨の6つの部位があることであった。

われわれは、関節の階層関係により全体ツリーの根ことから先端へ手繰りながら検証し、関節の回転中心により姿勢の対称性を検証す

ることで、特徴関節を特定していく。つまりまず背骨に相当する関節や関節群を特定し、その後背骨から左右対称的に分岐する手や足を特定する。

この特徴的な関節を特定していく順序が人体の発生の過程に似ていることから、処理のいたるところで発生学をアナロジーとして使う。例えば手の指の特定には、指が発生の過程で平らな手板からアポトシスによって別れてできるという前提を利用している。また特徴関節および関節群の名前は発生学に因んでつけている。

図1に示すように、われわれは特徴関節および関節群を導入した。それぞれの具体的な定義は後で詳しく述べる。

特徴関節を全体ツリーの根っから特定する順番は以下の通りである。まず幹、そして肢芽、肢板、手肢芽および足肢芽、手肢板および足肢板、そして最後に指端である。ただし、すべての特徴関節を直接的に特定しなくても、他に特徴関節を特定することで間接的に特定できるものもある。例えば、足肢芽を特定できれば同時に幹根を特定できる。また手肢芽を特定すれば、頭を含む幹のし候補をしばらくこむことができる。

以下では特徴関節および関節群の特定問題を議論する。この議論では特徴関節の定義、特定するための指針、特定に利用する入力データとその形式、そして問題の解としての出力結果とその形式である。

3.1.a 幹の特定問題

われわれは人体の関節群のもっともおおざっぱな区分として幹と肢を定義する。人体に注目したとき、手や足のように左右の対がある部位と、頭蓋骨や背骨のようにその部位自体が対称的で対を持たないものがあることがわかる。われわれは前者を肢と呼び、後者のものを幹と呼ぶことにする。幹をもう少し厳密に定義すると、幹とは全体ツリーの部分ツリーをなす関節群であり、全体ツリーの中に幹は一つ存在する。H-anim には含まれないが、想定できるものとして魚の「背鰭」や猿の「尻尾」なども幹に含まれると解釈できる。これに対して肢とは、幹からはえる部分ツリーをなす関節群で、同じ幹から生える左右の対となる部分ツリーを必要とする。H-anim には含まれていないが想定できるものとして、鳥の「翼」や猫の「猫耳」などが肢として挙げられる。

幹の特定は関節の回転中心の座標を有効に活用できる。与えられるデータの内容に対する要求で示した通り、人型キャラクターは左右に対して「だいたい」対称的な基本姿勢をもっている。つまり幹のX座標は「ほぼ」ゼロの近傍にあると考えられる。以下では左右の対称性に関する情報と階層関係と組合せて総合的に評価するための方針の概略を説明する。

凡例：

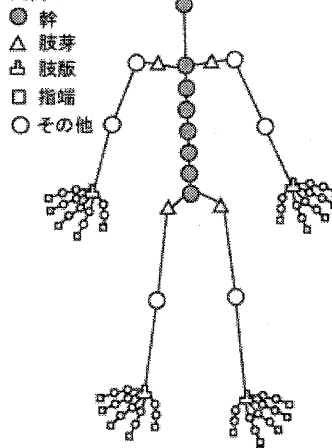


図1 人型キャラクターの特徴関節および関節群

この処理はルートから数えて関節Aの同じ深さをもったすべての関節を対象に実施する。まず関節AのY-Z平面に対する鏡像Aを取る。鏡像Aと比較対象との距離のうち、もっとも短い関節Bを求める。もし、関節Bが関節Aと一致していれば、それを幹とする。また関節Bと関節Aが異なる関節の場合、以下の条件を満たせば関節Aと関節Bは対の肢とする。その条件は関節Bの鏡像をとった場合もっとも近い関節が関節Aであることである。

幹を特定する問題は以下のような入出力を必要とする。入力とは任意のツリーであり、出力はそのツリーに幹の部分と肢の部分のマーキングしたツリーである。ただし幹の判断によっては複数の候補がありえるので、一つの入力に対して出力は複数のツリーである場合もある。

3.1.b 肢芽の特定問題

肢を特徴づける関節として肢芽を定義する。肢芽は肢が成すツリーのルートにあたる関節である。先の肢の定義から肢は幹から生えているので、肢芽も幹から生えていることがわかる。肢芽の言葉は発生学に由来し、人体の発生の際に幹から生える手や足のもととなる部位のことである。

肢芽の特定には、幹の特定問題の副産物である肢を利用すれば、肢芽の定義から簡単に求めることができる。

肢芽を特定する問題は以下のような入出力を必要とする。まず入力は幹部分と肢部分がマーキングされたツリーである。出力はそのツリーに対して肢芽となる関節がマーキングされたものである。ただし肢芽の判断によっては複数の候補がありえるので、一つの入力に対して、出力は複数のツリーとなる場合もある。

3.1.c 肢板の特定問題

肢の先にある指のもととなる関節群として、肢板の定義を行う。とくに肢板は手や足の先には指を特定することを前提に導入した。手や肢の指は発生の段階で、平らな板のような形をしておりこれを肢板と呼ぶ。発生が進むにつれて肢板はアポトシスにより指法線という切れ目ができ水掻きを経て指になる。肢板をもう少し厳密に定義すると、肢板と肢の部分ツリーで、そのツリーはルートと直結するノードだけをもつ。またそれらのノードはほぼ同じ平面上にあるものとする。

肢板を特定するには、肢板のなすツリーのルートAと末端B、C、Dとの相対座標を用いた以下の二つの条件が有効である。まずどの末端B、C、DをとってもルートAとの距離がほとんど同じであることだ。もう一つの条件は末端B、C、Dが肢板上で連続して隣り合う指に相当するのであれば、角BACと角CADがほとんどおなじであることだ。

この問題の入力は肢芽がマーキングされたツリーであり、出力は肢板にあたる関節群のマーキングを追加したものである。肢板の判断によっては複数の候補がありえるが、一つの入力に対して出力は一つのツリーとする。つまり一つのツリーの中に、複数の肢板候補が同時に存在する事になる。

3.1.d 手肢芽、足肢芽の特定問題

肢芽が特徴づける肢が具体的に人体のどの部位に相当するかを特定するために、手肢芽および足肢芽を定義する。手肢芽とは手になる肢芽であり、足肢芽とは足になるべき肢芽である。

手肢芽および足肢芽を特定は、肢芽の組合せ問題であり、以下の条件が問題を解くのに有効である。手肢芽は一つ以上の関節からなる幹の上に存在する。さらに手肢芽は、頭をあらわす部位とおなじ幹から分岐しているため、肢芽と同じ階層に幹が1個以上伸びている必要がある。一方、足肢芽の場合は、0個以上の関節からなる幹の上に存在している。また手肢芽や足肢芽を決定するときそれらが、先に求めた肢板をもっているかどうか判断の基準となりうる。

この問題の入力は肢芽と肢板がマーキングされたツリーである。出力はそのツリーの肢芽の部分に手肢芽と足肢芽のマーキングを付け加えたツリーである。ただし手肢芽および足肢芽の判断によっては複数の候補がありえるので、一つの入力に対して、出力は複数のツリーである場合もある。

3.1.e 手肢板、足肢板の特定問題

手肢芽および足肢芽が決まるとそこに含まれる肢板のなかから実際の指を表わす関節群である手肢板および足肢板を見つける。

手肢板と足肢板を特定するには、一つの肢に含まれる肢板を選ぶ必要がある。一つの肢には複数の肢板が含まれる場合もあれば、一つも含まれない場合もある。先に解への要求で述べたようにならずしも関節の階層関係に左右対称性がある必要はない。このため右の手肢板と左の手肢板を独立に決める。また肢板がない場合には自動的に先端とする方針もとれるが、左右対称性を考慮した短い肢にそそえた候補もありうる。

この問題の入力は手肢芽および足肢芽と肢板がマーキングされたツリーである。出力はそのツリーに手肢板と足肢板のマーキングを付け加えたツリーである。ただし手肢板および足肢板の判断によっては複数の候補がありえるので、一つの入力に対して、出力は複数のツリーである場合もある。

3.1.f 指端の特定問題

手肢板および足肢板が決まるとそれらのルートから生える指の先端を表わす関節群の指端を見つける。H-anim では足に指がないが、クリエータが足の指まで表現することも想定される。ここでは h-anim に関わらず足に指があることを前提に調べる。

指端を特定するには、手肢板または足肢板の末端の階層に含まれることを前提にする必要はない。とくに親指はその前提にそぐわない。また、指階層の深さが不揃いであることは考えにくいので、手肢板または足肢板の末端からの最低の深さに指の深さをそろえる。

この問題の入力は手肢板および足肢板がマーキングされたツリーである。出力は指端のマーキングを付け加えたツリーである。ただし指端が5つ以上の関節を含んでもよく、一つの入力に対して出力は一つのツリーを返す。

3.2 特徴関節間の関節および関節群内の関節の対応問題

詳細な関節には、特徴関節間にある関節と、関節群内に含まれる関節がある。先の処理では h-anim とは別に新たに特徴関節および関節群を定義してそれを特定したが、ここでは h-anim の関節との対応をとる。

特徴関節間の対応には、h-anim 推奨の LOA を活用する。特徴関節を端点とするチェーンの間に入る関節名を決める処理において、入れるべき関節の選択に LOA に現れる頻度に基づいた優先順位を利用する。ただしチェーンが長い場合には関節のいずれかをスキップして対応付けをする必要がある。

関節群内の関節の対応付けには、関節の回転中心の座標を利用して人体が h-anim の規定する基本姿勢をしていることを前提とした特定をおこなう。関節群がチェーン構造である場合には、先の特徴関節間の対応とかわりない。しかし関節群がツリー構造をしている場合には同じ階層にある関節と座標情報でしか区別が付かないため、姿勢が大きく影響する。例えば手肢板からそれぞれの指を特定する問題がこのケースに当てはまる。H-anim の標準姿勢では腕を下ろしているため手のひらは内側となり、親指以外は垂れ下がる。しかし手を真横にあげる姿勢では手のひらが下を向くため、指の絶対位置関係が異なる。

この問題の入力は特徴関節が特定されたツリーであり、出力は対応付けられた関節を含むツリーである。ただし関節の対応付けの判断によっては複数の候補がありえるので出力は複数のツリーとする。

3.3 姿勢適合問題

先の処理で対応付けた関節がその前提通り標準姿勢を取っていることを判断する。関節の対応が付くことではじめて、特定の関節間の相対関係が明確になり、姿勢判断が可能となる。例えば、キャラクタが腕を水平にしていることを調べたければ肩と肘と手首がほぼ横一直線になっていることが分かれば良い。

姿勢を判断するには、姿勢のテンプレートを利用する。ただしキャラクタごとに体格が異なる、つまり関節中心の間の距離が異なるので、姿勢のテンプレートに含まれる回転中心の絶対座標は使えない。そこで、関節間の相対的な関係を活用してテンプレートをキャラクタごとに引き伸ばす。この引き伸ばしたテンプレートと実際のキャラクタの姿勢との間で平均二乗誤差をとり基準値を下回れば適合していると判断しすべての処理が終了する。

姿勢が適合していない場合には異なる複数の姿勢のテンプレートからもっとも近い姿勢を選び、その姿勢から標準姿勢へ矯正する。具体的な矯正処理は関節の回転中心を変更することによっておこなう。そして特徴関節間の関節および関節群内の関節を対応付ける処理を繰り返す。

この問題の入力は対応付けられた関節を含むツリーであり、出力は二種類ある。一つは、姿勢が適合したことを表わす終わりのサインである。もう一つは、異なる姿勢の候補によって、関節の回転中心の座標を矯正され特徴関節だけにマーキングされたツリーである。ただし一つの入力に対して出力は一つのツリーとする。

4. 議論

われわれは、関節対応問題への要求を検討し、それらのケースのほとんどに一元的に対応できるフレームワークを示した。これらの問

題解決の方針には「だいたい」や「ほぼ」などの曖昧な言葉がでているが、これらを解決するためになるべく特殊なパラメータを与えずにアルゴリズムを設計するように勤めた。これによりユーザはケースごとに場当たり的な対処をする作業から開放される。

しかし、われわれは問題を細分化したため、その結果として様々な条件分岐によるたくさんの解がでてきた。解の候補を増やすにしたがって、ユーザはその候補の違いをユーザがみつけ、選択する必要がでてくる。もともとはユーザによる手作業による関節の対応付けを減らすための自動化であったが、逆にユーザに負担をかけることになりうる。

このため実際の利用する現場で、妥当な解だけを求められるように解の条件を狭くするような設定を行う必要がある。だが、自動プログラムを利用するユーザがわざわざチェックボックスなどを用いて求めたい解の条件を絞り込むのは、ユーザに自動プログラムの内部アルゴリズムの知識が必要とされるので現実的ではない。

そこで、ユーザが想定している正事例をテンプレートとして登録する方法が現実的であると考えられる。テンプレートは姿勢適合問題の基本姿勢として現在使われているが、特徴関節の特定問題の判断材料として捉えることができるだろう。例えば、左右対称性を保証しないのであれば、左右対称ではない事例をテンプレートとして加えるという作業を行うことは妥当である。また指の長さに関しても3つ以上はいらぬが、4つ以上をサポートしたい場合にはその事例をテンプレートとして追加することが考えられる。

5. おわりに

キャラクターデータを再利用するニーズにこたえて H-anim による人間記述の標準化が行われているが、レガシーアプリケーションのデータと標準記述との対応はまだ難しい。レガシーアプリケーションのなかには人体の抽象度をもっていないものも多いため、人手による対応づけ作業が必要であった。

特にこの論文では、キャラクターデータの再利用を促すための根本的な課題として関節対応問題と取り上げた。この関節対応付けの作業は、人手で行うのは手間がかかるうえ、曖昧性もありヒューマンエラーを誘発する恐れがあった。

この問題を解決するために、われわれは与えられたデータから人型キャラクターの特徴抽出を行うことで処理の自動化をすることを、以下の三段階の処理として提示した。はじめの処理では、座標や構造の特徴のある関節だけを特定する。そして次の処理で h-anim の規定する標準姿勢であることを前提として、詳細部分を特定する。最後に特定済みの関節を前提として、用意した姿勢のテンプレートとの適合を調べる。もし姿勢が適合すればすべての処理を終了し、適合しなければ別のテンプレートを選び再び二番目の処理を繰り返す。

ただしわれわれの提案する手法は様々なケースに対応することができる解の候補が複数出る可能性がある。今後は、提案した方針に基づき自動化プログラムの実装し、様々なデータに対して実験を行い、解の質について検証する。また先に議論したように正事例のテンプレートを与えることで、ユーザの利用現場にあわせたカスタマイズができる仕組みについても検討していく。

三次元キャラクターの特徴抽出による関節対応の自動化によって、H-anim の標準記述に促したデータの作成が容易となり、標準化の助けとなることが期待できる。自動プログラムはレガシーアプリケーションからの標準形式の出力プラグインや、レガシーアプリケーションのファイルの変換ツールとして提供できる。さらに進んだ利用として、三次元マルチユーザワールドのような開放系のシステムにおいてユーザが持ち込んだ人型アバタと、別のユーザが持ち込んだアニメーションデータを動的に組合せて新たな表現を作り出す基盤技術になることをわれわれは期待している。

参考文献

- [1] h-anim Humanoid Animation Working Group version 1.1: <http://h-anim.org/>
- [2] Honda, Y., Matsuda, K., Rekimoto, J and Lea, R. Virtual Society. Procs. of VRML'95, ACM press 1995 pp.109-116.
- [3] Y Araki, A Description Library for Avatar-centric Communication Methods in 3D-MUVes, TVRSJ Vol.4 No.2 pp.389-398, 1999
- [4] Niazi and N. I. Badler., Converting BRL-CAD objects to surface representation and adding articulation and Jack ergonomic analysis, O. Niazi and N. I. Badler. BRL-CAD Symposium '91, May 1991.
- [5] Tolga K. Capin, et al., Avatars in Networked Virtual Environments, John Wiley & Sons Ltd, pp102-108, 1999
- [6] Robert Carrier, Jean-Yves Ruisseau, Vincent Del Castillo, Jean Paul Papin., Virtual Man: A High Precision, Fully Articulated Human Model, Digital Human Modeling For Design And Engineering Conference & Exposition, April 1998, Dayton, OH, USA.
- [7] Michael Gleicher, Retargeting Motion to New Characters, COMPUTER GRAPHICS Proceedings, pp33-42, July 1998
- [8] Leonardo Chiariglione. MPEG-4 - The fusion of natural and synthetic audio and video, 15th Spring Conference on Computer Graphics, pp. 45-64 April 1999.
- [9] The Virtual Reality Modeling Language 97, <http://www.web3d.org/Specifications/VRML97/>, ISO/IEC 14772-1:1997.
- [10] S. Iwasawa, J. Ohya, K. Takahashi, T. Sakaguchi, S. Kawato, K. Ebihara, and S. Morishima, "Real-time, 3D Estimation of Human Body Postures from Trinocular Images," ICCV'99 Workshop Modelling People (mPeople), Corfu, Greece, pp.3-10, 1999
- [11] Moore, Keith L., Before we are born: essentials of embryology and birth defects, W.B. Saunders Company 1993
- [12] J.S. Monzani, P. Baerlocher, R. Boulic, D. Thalmann, Using Intermediate Skeleton and Inverse Kinematics for Motion Retargeting, proc. Eurographics 2000.
- [13] Kwangjin Choi, et al. On-line Motion Retargeting. In the Proceedings of the International Pacific Graphics '99, Seoul Korea, October 5-7, 1999.
- [14] Rama Bindiganavale, et al. Motion abstraction and mapping with spatial constraints. In Modelling and Motion Capture Techniques for Virtual Environments, International Workshop, CAPTECH'98, pages 70--82, Geneva, Switzerland, November 1998. Springer-Verlag