

無理のない姿勢を逆動力学・最適化により提案する バーチャルデッサン人形

江添 正剛^{†1,a)} 三武 裕玄^{†1,b)} 長谷川 晶一^{†1,c)}

概要: イラストを描く際、デッサン人形を参考にイラストを描く手法があるが、デッサン人形のとる姿勢が人間にとって無理のないものになっているかはユーザーの知識に依存する。そこで、物理モデルを持ったバーチャルデッサン人形を作成、姿勢を維持したときに全身にかかる負荷が少なくなるような関節角を最適化計算により算出し、ユーザーがより自然な姿勢のイラストを描くための手がかりとして提案する。

キーワード: 物理シミュレーション, 上達支援, イラスト作成, 最適化

Virtual drawing doll which suggest natural posture by invese dynamics and optimization

EZOE MASATAKA^{†1,a)} MITAKE HIRONORI^{†1,b)} HASEGAWA SHOICHI^{†1,c)}

Abstract: Drawing dolls are used while drawing a illustration as a refference. However, it requires users' knowledge of human body to manipulate drawing doll's posture naturally. We propose the virtual drawing doll with physics calculation, to suggest more natural posture based on users' input of drawing doll's posture. The system uses inverse dynamics to calculate joint torques, and calculates local optimal solution which requires less joint torques and maintains original posture as far as possible.

1. はじめに

人物のイラストを描く際に、その複雑な人体の立体構造を把握するための手がかりとしてデッサン人形を使用する手法がある。自分が描きたいとイメージしているポーズを実際に人形に取らせ、それを参考にしながらイラストを描くことにより、イメージだけでは描けなかった複雑な構図のイラストを描く事を可能にする。近年では実際に手で動かす事のできる人形だけではなく、3D ソフトを使用して 3D モデルに自由にポーズを取らせ、それを参考に絵を描き進める手法も存在する。3D ソフトを使用する手法では自由なデザインのモデルを使用する事ができ、また関節が多く自由度の高いモデルを使用する事ができるといった

利点がある。

しかしデッサン人形を参考にする上で問題となるのが、その人形にポーズを取らせるのは絵を描く本人自身だという事である。イラストを描く事と同様に、デッサン人形を操作しポーズを取らせることにも知識と技術が必要になる。実物、あるいは画面上で自ら人形を操作し、得られたポーズからフィードバックを受けることで特定のポーズにおける正確な人体のパーツの比率や位置関係を知る事が可能となるが、そのポーズ自体を評価するシステムはデッサン人形には備わっていない。生成されたポーズに対する認識が未熟である場合、不自然なポーズを参考にイラストを描くことになってしまう。例えば、各関節の角度が可動域に収まっていたとしても、筋肉に大きな負荷がかかるため、実際に同じポーズを人間が取り続ける事が難しいようなポーズである。

また 3D ソフトにおける 3D モデルのポーゼングはモデルの自由度が高くなるほど動かさなければならない関節の

^{†1} 現在、東京工業大学
Presently with Tokyo Institute of Technology

a) ezoe@haselab.net

b) mitake@pi.titech.ac.jp

c) hasevr@gmail.com

数が増え、操作の難易度が高くなる。イラストの初級者ほど細部まで緻密に人体の構造の描写が可能なモデルやソフトを必要としているにも関わらず、ポーズデータを作成する操作の難易度は反対に上昇してしまうという問題がある。

そこで本研究では物理モデルを持ったバーチャルなデッサン人形を作成し、ユーザーがあるポーズを取らせると、より人体にとって自然になるようなポーズに修正して提案するシステムの作成を目的とした。

ユーザーが入力したポーズデータを元にシミュレーションを行う事で、そのポーズを維持する際に人体にかかる負荷を計算する。その後、各関節にかかる負荷が少なくなるように関節角のパラメータを最適化し、元のポーズより自然に見えるポーズの生成、ユーザーへのフィードバックを目指した。

2. 関連研究

システムがユーザーのデッサン支援を行うシステムに [7] [5] [10] がある。ユーザーが描いたデッサン画と元の画像から特徴抽出を行い、誤りを同定し、アドバイスを生成している。[6] で述べられているように、デッサン画の誤りの原因としては、動作の未熟さ、対象の認識の未熟さ、認識と動作の対応付けの誤りの三つが考えられる。しかし、デッサン画には明確な正解が存在する一方で、ポーズ生成には、生成されたポーズに対して実際にそのポーズを人間が取ることは困難であるといった誤りは存在するものの、明確な正解を示すことはできない。また、ポーズ生成はデッサン画と異なり、ユーザーの認識と対象となるポーズが一致するまで何度も修正を行うことが可能なので、誤ったポーズ生成を行ってしまう要因としては、対象の認識の未熟さが考えられる。ここでいう対象への認識には、人体のメカニズムや、筋負荷とポーズの関係をどれだけ把握できているかといった要素がある。

そこで本研究では、生成されたポーズから各関節にかかる負荷を計算しより負荷の少ない姿勢をユーザーに提案し、フィードバックを与えることで、ユーザーが一人でデッサン人形を操作するだけでは得られなかったポーズへの認識の向上を目指す。

ソフト上での自由度の高い 3D モデルのポージングは難しく、QUMARION [1] のように実際に人形を用いてポーズ入力の補助を行うデバイスや、人形の画像から特徴点を抽出し 3 次元のポーズデータを推定する研究も存在する [9]。イラスト制作ソフト CLIP STUDIO PAINT [2] には 3D モデルを作画の参考にできる機能が付属している。モデルデータだけでなくポーズデータをユーザー間で共有することで、ポージングに対する知識がない初級者でも手軽に扱える環境を実現している。また、ソフト側でポージングを入力を補助するための機能として、モデルのパーツの目標位置を決め、逆運動学 (IK) によって残りの関節角を決

めながらポージングを行う機能があり、目標位置を動かしながらインタラクティブにイラストの構図を決定できるという利点がある。本研究では IK は使用しないが、パーツの目標位置は目的関数に組み込んで最適化計算に使用する。

人体にかかる負荷のシミュレーションを行うソフトウェアには OpenSim [3] がある。モーションキャプチャデータから人体のモデルのモーションデータを作成し、床反力などの外力のデータと組み合わせることにより逆運動学を用いて各関節で発生しているトルクを計算することが出来る。また人体のモデルに筋骨格の情報が組み込まれていれば、関節トルクから筋負荷を計算する事もできる。本研究では人体モデルの関節にかかるトルクを計算するため OpenSim のライブラリの一部を使用する。

3. システムの概要

システムがポーズデータを出力するまでの処理の流れを図 1 に示す。

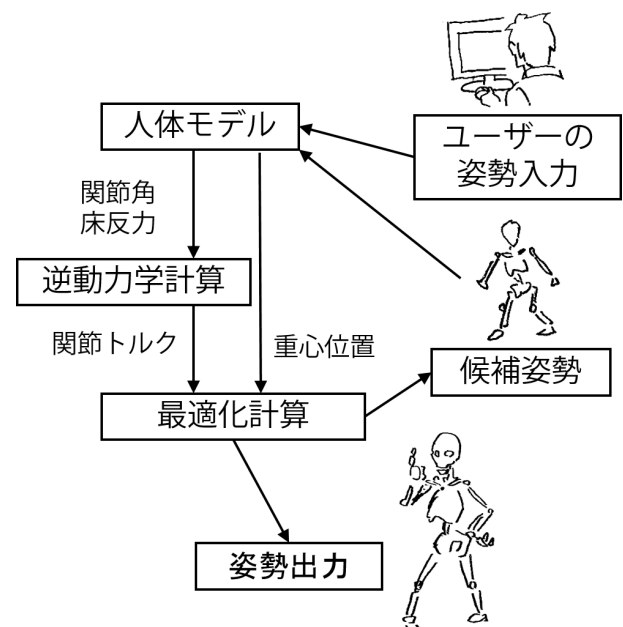


図 1 システムの処理の流れ

3.1 人体モデル

人体のモデルは各パーツ毎に分割されており、可動域を持った関節によって繋がっている。各パーツにはそれぞれ質量と質量中心が設定されている。また、今回はパーツ同士の接触は考慮していない。

3.2 床反力

各パーツの質量と質量中心の座標から、モデル全体の重心 (CoM) を求めることができる [8]。今回はモデルの姿勢、つまり CoM が静止した状態を考えているので、CoM

からを床に降ろした垂線の足が圧力中心 (CoP) となる。両脚に作用する床反力は、体重の反作用を CoP と両脚の距離の比率に応じて分配した。

また床反力の作用点の中心が両脚がなす支持多角形の外側にあると、重心を中心にトルクがかかり静止した姿勢を維持することができない。よって両脚の中心位置を支持中心 (CoS) とし、CoP との距離を DoP とおく。中心から両脚までの距離を r とし、支持多角形を CoS を中心とした円として近似することで拘束条件を以下のとおり定めた。

$$\frac{DoP}{r} < 1 \quad (1)$$

3.3 逆動力学計算

計算した床反力を元に、姿勢を維持するために必要な関節トルクを逆動力学計算により求めた。逆動力学計算には OpenSim[3] のライブラリを使用した。

3.4 目的関数と最適化

姿勢維持のために関節 q_i が出すべきトルクを τ_i とすると、各関節トルクに重み w_i をかけた総和 (SoT) を以下の式で表すことができる。

$$SoT = \sum_{i=0}^q w_i * \tau_i \quad (2)$$

また入力姿勢のパーツ q_i の座標を x_{0i} 、候補姿勢でのパーツの座標を x_i とすると、元のモデルからの移動距離 d_i が求められる。

$$d_i = x_i - x_{0i} \quad (3)$$

また、パーツ p_i の元の座標からの移動距離を d_i とし、そのパーツ p_i を元の座標にどの程度維持させるかの重みを a_i とすると、元の姿勢からの変化量の総和 (SoD) を以下の式で表すことができる。

$$SoD = \sum_{i=0}^p a_i * d_i \quad (4)$$

より自然な姿勢を生成するために、式 (2) が少くなるような姿勢を計算する。一方で、元の姿勢からずれすぎてしまうと目的から逸脱してしまうので、元の姿勢からのずれの値を式 (4) とした。また DoP が式 (1) を満たしていたとしても、DoP が r に近い値を取るということは、つまり両脚のどちらかの脚に大きく負荷がかかっているか、もしくはつま先やかかとに大きな負荷がかかっていることになるので、より安定した姿勢を得るために、DoP がなるべく小さな値をとるように目的関数に組み込んだ。

以上の理由から目的関数と拘束条件を以下の様に定め、非線形計画問題を解き、局所最適解を求める。

$$\text{minimize } SoT + SoD + \alpha \frac{DoP}{r} \quad (5)$$

$$\text{subject } 1 > \frac{DoP}{r} \quad (6)$$

4. 結果

4.1 使用モデル

今回の実験には [4] で使用されている男性の全身の骨格モデルを使用した。詳細を以下の表 1、図 2 に示す。

体重	75.2kg
パーツ数	20
関節パラメータ数	32

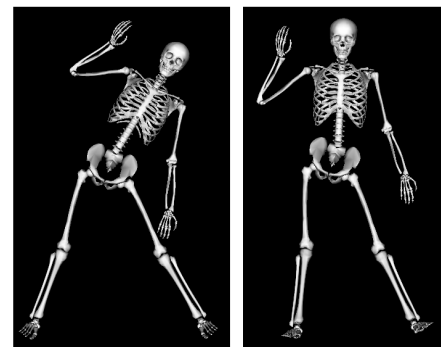
表 1 骨格モデルの詳細



図 2 骨格モデル

4.2 実行結果

今回は著者が実際にポーズデータを作成し、作成したシステムによりどのような結果が出力されるかを検証した。結果の例として、入力姿勢と最適化計算後の姿勢の変化の図と計算前後の値を以下に二つ示す。



入力姿勢 最適化後

図 3 ポーズデータの変化 1

	実行前	実行後
SoT(m · N)	299.8	135.9
SoD(m)	0	38.3
DoP/r	0.634	0.325

表 2 最適化前後の値 1

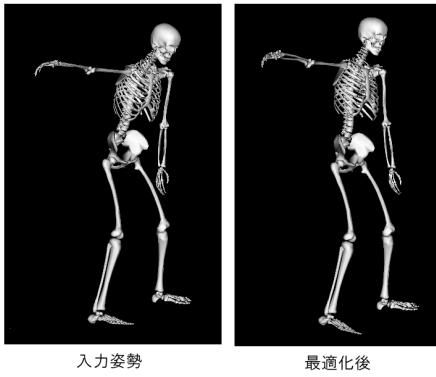


図 4 ポーズデータの変化 2

	実行前	実行後
SoT(m · N)	159.2	110.1
SoD(m)	0	9.77
DoP/r	0.427	0.08

表 3 最適化前後の値 2

5. 考察

今回の実験により、作成したポーズデータから、より人体モデルへの負荷が少ないポーズデータを得られた。今回使用した骨格モデルは上半身の自由度が低く、腰部分の関節にかかる負荷が背骨などに分散されず大きな値を出していたため、それらを打ち消すように上半身を起こすような姿勢が優先的に出力されていた。

また腕にかかる負荷は脚や腰にかかる負荷に比べて微少なため、計算後の結果に上手く反映されていなかった。今回は関節が発揮するトルクのみを考慮していたが、関節によって発揮できるトルクの大きさには差があるので、今後、関節毎にトルクの最大発揮値を考慮し、パラメータに重み付けを行いたい。

6. 今後の課題

現在は OpenSim 上のインターフェースでポーズデータを作成し、出力結果も OpenSim 上で確認しているが、今後はポーズデータの作成、読み込みを行うことができるソフトウェアを作成し、多くの人に利用してもらえるようなシステムを目指したい。

また、実際に趣味で絵やイラストを描いている人に使用してもらい、入力したポーズに比べ、出力結果が無理のない姿勢になっているかどうか、評価実験を行い検証したい。

参考文献

- [1] Inc. CELSYS. QUMARION — 人型入力デバイス. <http://www.clip-studio.com/quma/>. (参照 2015-7-29).
- [2] Inc. CELSYS. イラスト・マンガ制作ソフト CLIP STUDIO PAINT — CLIP STUDIO.NET. <http://www.clipstudio.net/>. (参照 2015-7-29).
- [3] Scott L. Delp, Frank C. Anderson, Allison S. Arnold,

Peter Loan, Ayman Habib, Chand T. John, Eran Guendelman, and Darryl G. Thelen. Opensim: Open-source software to create and analyze dynamic simulations of movement. *IEEE Trans. Biomed. Engineering*, Vol. 54, No. 11, pp. 1940–1950, 2007.

- [4] Hamner, Samuel R., Ajay Seth, and Scott L. Delp. Muscle contributions to propulsion and support during running. *Journal of biomechanics* 43.14 (2010): 2709-2716.
- [5] 加藤翔, 亀田昌志. 二物体間における遠近の理解を目的としたデッサン支援学習の一検討. 第 76 回全国大会講演論文集, Vol. 2014, No. 1, pp. 413–414, mar 2014.
- [6] 康一古川, 研植野, 知伸尾崎, 志穂子神里, 竜史川本, 恒司渋谷, 成彦白鳥, 正樹諏訪, 真人曾我, 寛和瀧, 努藤波, 聡堀, 陽一本村, 想平森田. 身体知研究の潮流: 身体知の解明に向けて. *人工知能学会論文誌 = Transactions of the Japanese Society for Artificial Intelligence : AI*, Vol. 20, pp. 117–128, nov 2005.
- [7] 合田隆三, 依子丸山, 英彰川西, 信幸梶本, 佐恵子高木, 富士市吉本. 初心者のための鉛筆デッサン支援システム. *情報処理学会研究報告グラフィクスと CAD (CG)*, Vol. 2002, No. 16, pp. 19–24, feb 2002.
- [8] 梶田秀司. ヒューマノイドロボット. オーム社, 4 2005.
- [9] 堀越基宏, 齊藤剛. 3DCG による人形のポーズ設計の研究. *全国大会講演論文集*, Vol. 2012, No. 1, pp. 137–139, mar 2012.
- [10] 澤田明宏, 亀田昌志. タブレット型コンピュータを用いた初心者向け対話的デッサン学習支援システムの開発. *全国大会講演論文集*, Vol. 2012, No. 1, pp. 895–897, mar 2012.