

身体部位の分離画像の生成と関節点の自動設定による 手描きイラストの姿勢制御

鈴木 優^{1,a)} 林 凌平^{1,†1}

受付日 2019年1月31日, 採録日 2019年9月11日

概要: 紙やペン等のアナログツールを用いた手描きはだれでも手軽に行える一方で, イラストの一部を変更したり, アニメーションを作成したりするような表現の拡張は容易ではない. 本研究では, アナログツールにより描画された手描きのイラストの表現拡張として, キャラクタのイラストの姿勢を自在に制御可能にすることを旨とする. だれでも容易に扱えるというアナログツールの良さを活かすために, 描き手にコンピュータを使っている感覚を与えないような支援をデザインするというアプローチをとり, 描画したイラストから身体部位を分離した画像を生成するための手法, 身体部位どうしをつなげる関節点の位置を自動で設定する手法, およびこれらの手法を採用した手描き支援ツール「絵モーション」を開発した. また, 絵モーションを試用した結果, 提案する関節点推定手法の有効性が示唆された.

キーワード: 手描きメディア, キャラクタ, イラスト変形, 画像処理, からだパズル

Posture Control of Hand-drawn Artworks by Generating Separate Images of Body Parts and Automatically Detecting Joint Points

YU SUZUKI^{1,a)} RYOHEI HAYASHI^{1,†1}

Received: January 31, 2019, Accepted: September 11, 2019

Abstract: Hand-drawing is one of the most popular medium to express their idea. While hand-drawing with analog tools like paper and pen can be easily performed, it is not easy to change a part of the drawn artwork or create an animation with the artwork. In this research, we aim to enable everyone to easily control the posture of the drawn artwork. In order to take advantage of the goodness of the analog tools, we take an approach to of designing a support that does not give the feeling of using a computer. We developed two techniques: a technique to generate separate images of the artwork's the body parts, and a technique to automatically detect the position of joints. In addition, we developed a hand-drawing support tool “E-motion” that equipped with the two techniques. Trial use of E-motion indicated that the technique to automatically detect the position of joints was effective.

Keywords: Hand-drawn media, character, artwork transformation, image processing

1. はじめに

人が自らの手で絵を描画する行為は手描きと呼ばれ, 最も慣れ親しんだ視覚的な表現手段の1つである. 我々は手描きで表現された視覚媒体を「手描きメディア」と呼ぶ.

手描きメディアは描き手の持つ感性や描画技術により表現結果が大きく異なり, 独特の趣や面白さが感じられるという特徴を持つ. 手描きメディアを創作する手段は, タブレット PC やペンタブレット等のコンピュータを用いるものと, 紙やペン等のアナログツールを用いるものとに大別できる. コンピュータを用いる場合, 1つのイラストを大量に複製したり, 一部を修正したりすることが容易にできるが, それらの操作には相應のスキルを要する. 一方で, アナログツールを用いる場合, 多くの人々が幼少の頃から

¹ 宮城大学
Miyagi University, Kurokawa-gun, Miyagi 981-3298, Japan

^{†1} 現在, トランスコスモス株式会社
Presently with transcocosmos.inc.

^{a)} suzu@myu.ac.jp

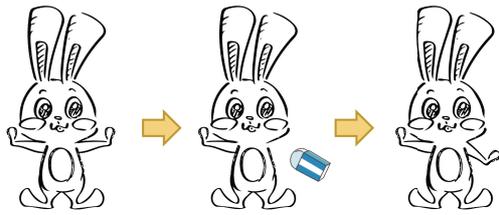


図 1 手描きの絵を描き直す過程の例

Fig. 1 An example of redrawing the hand-drawn artwork.

それらを使用して手描きメディアを創作した経験を持っており、特別な道具や訓練は不要でだれでもが容易に創作できるが、その創作物の表現を拡張するためには、時間と労力、技術が必要となる。たとえば、ペンで紙に描いたキャラクターのイラストのアニメーションを制作する場合、図 1 に示すように、キャラクターの身体部位を描き直して別の姿勢のイラストを大量に描画する必要がある。このような作業は手描きメディアの特徴である手軽さがなく、アナログツールを用いた手描きメディアの表現拡張の障壁となっている。

本研究では、アナログツールによる手描きメディアの表現拡張を支援するために、1つの手描きのイラストから別の姿勢のイラストを容易に生成できるようにすることを目指す。支援にはコンピュータを活用するが、だれでも容易に扱えるというアナログツールの良さを活かすために、描き手にコンピュータを使っている感覚を与えないような支援をデザインする。また、人間や動物をモチーフとした一般的なキャラクターのように、頭部、胸部、四肢の身体部位を持つイラストを対象とする。

本論文では、描き手にコンピュータを使っているように感じさせないために開発した、イラストの身体部位を容易に分離して描画するための手法と、身体部位をつなげる関節点の適切な位置を自動で設定する手法、およびこれらの手法と人の姿勢を用いてイラストの姿勢を制御する機能を実装した手描きメディアの拡張支援ツール「絵モーション」について報告する。

2. 関連研究

本研究では、紙とペンを用いて手描きで描画したイラストから別の姿勢のイラストを容易に生成できるようにすることを目指す。イラストの姿勢制御を実現する既存の方法として、描き手がコンピュータを使用してデジタルな編集操作を行う方法がある。ここでは、既存の手法とそれに関連する周辺技術、および本研究との差異について述べる。

イラストに動きを付与する研究として、イラストの動きを別の動画によって生成する Live Sketch [10] がある。動画に含まれるオブジェクトの動きをイラストにマッピングすることで、1枚のイラストからアニメーションを生成することができる一方で、イラストの動きは動画に依存するため、任意の動きを柔軟に生成することはできない。また、

KinEtre [4] は人の動きを用いて、任意の 3D オブジェクトを変形させるシステムである。このシステムでは、Kinect センサで取得した人の骨格情報と 3D オブジェクトのメッシュとを対応付けすることで、椅子や動物等の任意のオブジェクトを人の動きで変形させることができるが、ユーザがディスプレイに表示された自身の骨格情報と 3D オブジェクトとを見ながらそれらの対応付けを行う操作が必要となる。

キャラクターのイラストの変形やアニメーション制作のための市販のソフトウェアも存在する。Live2D [2] はさまざまな姿勢のイラストやアニメーションを生成できるソフトウェアである。Live2D では、あらかじめ作成した身体部位ごとに分割された画像データにポリゴンを割り当て、そのポリゴンを編集することで、イラストの変形等を実現する。Adobe Character Animator [1] はイラストの表情や姿勢を変更できるソフトウェアである。Adobe Character Animator では、Photoshop や Illustrator で作成されたイラストを読み込み、身体部位ごとのレイヤに配置する。Web カメラで撮影したユーザの顔の表情やマウス操作に合わせて、イラストの表情や姿勢を変形させることができる。これらのソフトウェアは手描きのイラストの変形にも応用可能であるが、画像に対してあらかじめポリゴンやレイヤの設定を行う必要があることに加えて、姿勢を制御するためには PC 操作が必要となる。

また、コンピュータ上に描かれた CG の変形を試みる研究として、Harmonic Coordinates [7] や Green Coordinates [8] がある。これらの研究では、選択された多角形領域の変形によりその領域に含まれる CG を変形しており、適切な多角形領域を設定することで CG の形状を自然に変形することができる一方で、これらの手法ではユーザが適切な多角形領域を設定する必要がある。また、Igarashi ら [6] は、CG の任意の点を掴んで自由に變形する手法を提案した。これは、掴んで動かしている点を制約として、その制約を満たしつつ、図形の局所的な歪みが最小となるようなアルゴリズムにより実現されており、キャラクターのイラスト変形にも応用できるが、各部位の姿勢を同時に変形するためには多点入力を用いる必要があり、同時に多点を自在に操作することは容易ではない。

これらの既存の研究や市販のソフトウェアでは、イラストの姿勢を制御するためのアルゴリズムや手法は実現されている一方で、その操作にはコンピュータを操作する技術や手間が必要となる。Live Sketch では難しい操作は必要ないが、イラストの動きは動画によって決定されるため、本研究が目指すキャラクターを任意の姿勢に変形させることは容易ではない。本研究では、操作に手間や技術を必要としない、手描きメディアの持つ手軽さを維持できる方法で、手描きのイラストの姿勢を容易かつ自在に制御可能にすることを目指す。だれでも容易に扱えるというアナログツ

ルの良さを活かすために、本研究では描き手にコンピュータの使用を感じさせない方法を採用する。

3. コンピュータの使用を感じさせずに姿勢の異なるイラストを生成する方法

本研究では、紙とペンを用いて手描きで描画した1つのイラストから別の姿勢のイラストを容易に生成できるようにすることを目指す。我々は、だれでも容易に扱えるというアナログツールの良さを活かすための、描き手にコンピュータの使用を感じさせない方法として、キャラクターのイラストから身体部位が描かれた領域を正確に特定する手法、その適切な位置に関節点を設定する手法、およびこれらによって生成される姿勢を変形可能なイラストを、人の動きを用いて制御する手法によって実現する方法を提案する。

身体部位とそれが描かれた領域とが正確に特定されている場合、それぞれの身体部位の接続位置である関節点を適切に設定し、各部位の回転を自由に行えるようにすることで、イラストの姿勢を違和感なく自然に変形させることができる。本章では、描画されたイラストから身体部位を正確に特定するためのアプローチと、適切な位置に関節点を設定するためのアプローチについて述べる。人の動きを用いてイラストの姿勢を制御する手法は6章にて説明する。

3.1 描画されたイラストからの身体部位の正確な特定

まず、手描きで描画されたイラストの身体部位を正確に特定するために、描き手に身体部位が描かれた領域を指定してもらう。最も単純な手段としては、すべての描画を終えた後に、イラストをスキャナでPCに取り込み、各部位のピクセル領域を選択する方法が考えられるが、ピクセル領域を正確に選択する操作は容易ではなく、だれもが手軽に行えるものではない。

そこで、本研究では、描き手がイラストを描画する作業の中に、描画中の身体部位を指定する作業を組み込むことで、描画したイラストのピクセル領域と身体部位とを紐付けるというアプローチを考案した。具体的には、イラストを描画する際に、描き手に描画する身体部位を指定するための装置を操作してもらうという方法である。この装置はPCの操作を知らなくても直感的に理解できる意匠と操作性を持つものとし、手描きメディアの手軽さを活かせるようにする。装置の詳細は4章にて述べる。

3.2 適切な位置への関節点の設定

イラストに描かれたキャラクターに関節点を設定する方法として、描き手に関節点を指定させる方法 [11] が提案されているが、この操作も容易ではなく、本研究の目指す支援の方向性に合致しない。また、画像処理の分野では、二次元画像に含まれる人物の骨格情報を推定するアルゴリズムが

研究されている。近年最も広く利用されているものとして、カーネギーメロン大学のCaoらが開発したOpenPose [3] やGoogleのPapandreouらが開発したPoseNet [9] という手法がある。これらはディープラーニングを用いた画像処理により、入力された二次元の静止画像から人間の骨格情報を高精度で推定するものである。高性能なコンピュータを利用することで、複数人の骨格検出や動画に含まれる人物のリアルタイムな骨格検出も可能である。これらの手法は人間を撮影した画像だけでなく、人を模したロボットやキャラクターのイラストにも適用できるため、推定したキャラクターの骨格情報と画像変形アルゴリズムを組み合わせることで、自然な骨格を維持した姿勢の変形が可能である。しかしながら、イラストに描かれたキャラクターから正確に骨格の検出を行うためには、画風等に合わせてパラメータを個別にチューニングする必要がある。この点において本研究が目指す支援の方向性に合致しない。

本研究では、特定されたイラストの身体部位の位置と領域の情報から、適切な関節点を自動で設定する方法を提案する。提案する関節点設定方法の詳細は5章にて述べる。

4. 身体部位の特定を可能にする描画方法

ペンを用いて紙の上に描画されたキャラクターのイラストから身体部位を特定するために、描き手には描画中に「からだパズル」により身体部位を指定してもらう。また、描画中のイラストはカメラでつねに撮影しておき、からだパズルの操作をトリガに画像処理を行い、身体部位の分離画像を生成する。

4.1 からだパズル

からだパズルは描き手に描画する身体部位を指定してもらうための装置である [13]。装置の外観を図2に示す。からだパズルは頭部、胸部、四肢（右手、左手、右足、左足）の各ピースとフレームから構成されており、各ピースはフレームの所定の場所にはめ込まれている。

描き手はこれから描画する身体部位のピースをフレームから取り外してから描画を開始し、その部位の描画が完了するまでそのピースは取り外したままにしておく。その身

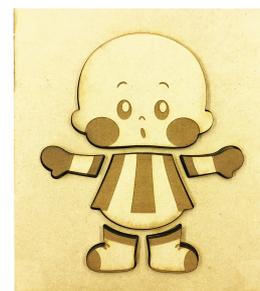
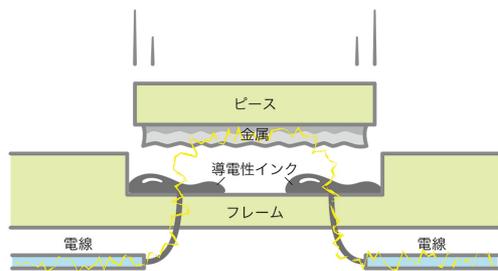


図2 からだパズルの外観
Fig. 2 Karada Puzzle.



(a) ピースの取り外しを検出する仕組み



(b) ピースを取り外した状態 (c) ピースの裏面

図 3 からだパズルの仕組み
Fig. 3 Mechanism of Karada Puzzle.

体部位の描画が完了すると、描き手はそのピースをフレームの元の場所に取り付け、次に描画するピースを取り外す。描き手はすべての身体部位の描画が完了するまでからだパズルの操作と描画を繰り返す。描き手がピースを戻す位置を間違えないように、ピースは身体部位ごとにすべて形状が異なるように設計されている。また、フレームのピースが収まる部分は凸型、ピースの裏面は凹型に加工されている。これにより、たとえば、右手のピースを裏返したときに左手のフレームに収まるようなことは発生せず、左右のピースの表裏を間違えて使用されることを防止できる。また、各ピースは身体部位を模した意匠とし、からだパズルの操作に係る認知的負荷が最小限となるようにした。

ピースがフレーム上から取り外されているか否かという状態は、図 3(a) に示すような電氣的な接続状態を用いて検出される。ピースを取り外したフレームは、ピースとの接地面の 2 カ所に導電性インクによる電極を備えている(図 3(b))。たとえば、フレーム頭部の左右の頬にある黒い部分が導電性インクによる電極部分である。2つの電極の先には、それらの電極どうしの接続状態を検出する仕組みが Arduino により実装されている。ピースの裏面には、図 3(c) のように金属メッシュが取り付けられている。ピースをフレームに取り付けることで、ピース裏側の金属メッシュによりフレームの 2つの電極が電氣的に接続される。

4.2 画像処理による分離画像の生成

からだパズルで検出されたピースの取り外し操作が身体部位の描画開始のトリガに、取り付け操作が描画終了のトリガとなる。よって、この期間に描画されたイラストは、取り外したピースが表す身体部位のみが分離描画されたイ

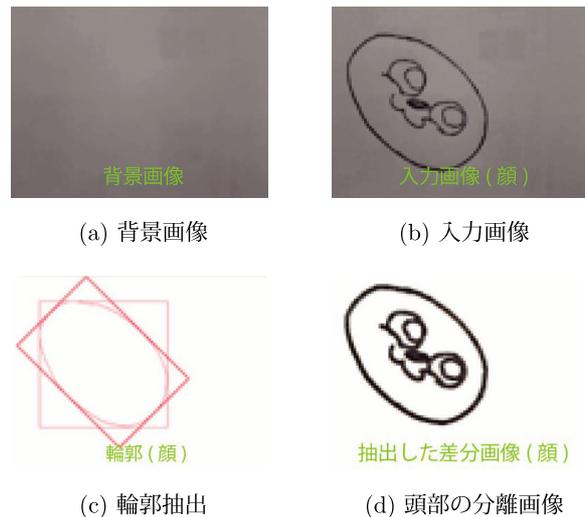


図 4 画像処理による分離画像生成プロセス
Fig. 4 Process to generate the separate images.

ラストとなる。本研究では、描き手が描画するイラストをつねにカメラで撮影しておき、背景差分法を用いてピース取り外し期間に描画されたイラストの画像のみを抜き出す。

ピースが取り外された直後の紙を撮影した画像を背景画像(図 4(a))、ピースが取り付けられた直後の紙を撮影した画像を入力画像(図 4(b))とする。背景差分法を用いてそれらの画像を処理し、差分を抽出して前景画像を得る。得られた前景画像から輪郭抽出を行い、描画部分を包含する最小矩形(図 4(c))を取り出し、前景画像のうち、その最小矩形に含まれる領域を身体部位の分離画像(図 4(d))として保存する。この処理を 5つすべてのピース分だけ行うことで、5つすべての身体部位の分離画像を生成することができる。すでに描画したピースを再び取り外して描画する場合、それまでに描かれた画像を背景画像として設定し、そこからの差分を抽出した前景画像が取得される。この画像は前回描かれた画像とはいったん別の画像として保存され、すべての描画が終わった後に 1つのファイルに統合されるため、一度描いた身体部位を描き足すような操作も可能である。分離画像を用いてイラスト全体を再構成できるようにするために、頭部と四肢の各画像に対しては、胸部画像との相対的な位置の情報が別途保存されている。

分離画像の生成に必要なこれらの処理はピースの脱着をトリガにより自動的に行われるため、描き手はからだパズルを操作しながら紙の上にペンでイラストを描画するだけでよく、分離画像の生成は容易に行える。また、頭部のピースを使用せずに、胸部のピースに顔を描画するような操作を行うことで、胸部がなく、頭部と四肢が直接つながっているようなキャラクターを描画することもできる。

5. 適切な関節点の設定方法

からだパズルと画像処理により抽出した各身体部位の画像と、保存した頭部画像と四肢画像の相対位置情報を用い

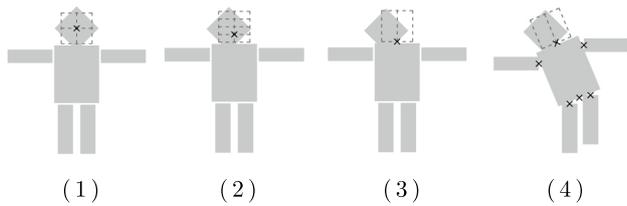


図 5 検討した頭部の関節点の位置 (点線はガイド線, バツ印は関節点)

Fig. 5 Candidate for the position of head joint.

てイラスト全体を再構成する. このときに, 胸部に対する頭部と四肢の接続部分の適切な位置に関節点を設定することで, イラストの姿勢を自在に制御できる.

予備実験として, 身体部位の画像から再構成したいいくつかのイラストを用意し, 画像どうしの接続面の中点に関節点を置き, イラストの姿勢を制御したところ, イラストによって姿勢に違和感が生じることが明らかとなった. そこで, 我々は頭部, 腕部, 脚部に対して, それぞれ適切な関節点の定め方を検討した [12]. なお, 本研究では比較的描画が容易な姿勢である, 正面向き, かつ直立で腕を伸ばしたイラストを対象とする.

5.1 頭部の関節点位置の検討

イラストは正面を向いていることが前提であるため, 頭部の関節点の水平方向の位置は頭部の幅の中点とした. 垂直方向の位置は 3 種類の高さと, 頭部と連動して胸部を動かす方法を検討した. よって, 検討した頭部の関節点は以下の 4 種類である. (1)~(4) は図 5 に対応する.

- (1) 水平方向の位置: 頭部の幅の中点
垂直方向の位置: 頭部の高さの中点
- (2) 水平方向の位置: 頭部の幅の中点
垂直方向の位置: 頭部の底面から上に頭部の高さの 4 分の 1
- (3) 水平方向の位置: 頭部の幅の中点
垂直方向の位置: 頭部の底面
- (4) 水平方向の位置: 頭部の幅の中点
垂直方向の位置: 頭部の底面 (頭と体が半分ずつ回転)

5.2 腕部の関節点位置の検討

イラストは正面を向いていることが前提であるため, 腕部の関節点の垂直方向の位置は腕部の高さの中点とした. 腕を回転させたときに肩が外れて見えないように, 水平方向の位置は 3 種類を検討した. よって, 検討した腕部の関節点は以下の 3 種類である. (1)~(3) は図 6 に対応する.

- (1) 水平方向の位置: 腕部の付け根の側面
垂直方向の位置: 腕部の高さの中点
- (2) 水平方向の位置: 腕部の付け根の側面から胸部方向に腕の高さの 4 分の 1
垂直方向の位置: 腕部の高さの中点

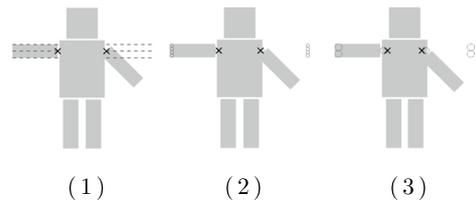


図 6 検討した腕部の関節点の位置 (点線はガイド線, バツ印は関節点)

Fig. 6 Candidate for the position of arm joint.

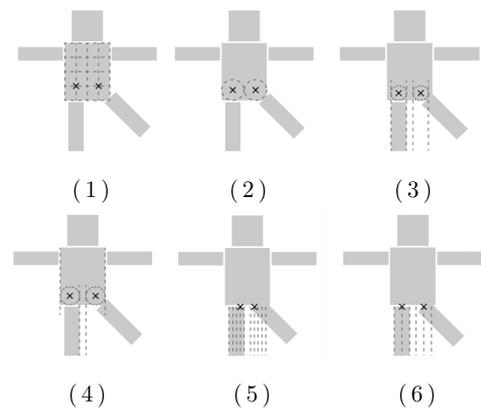


図 7 検討した脚部の関節点の位置 (点線はガイド線, バツ印は関節点)

Fig. 7 Candidate for the position of leg joint.

- (3) 水平方向の位置: 腕部の付け根の側面から胸部方向に腕の高さの 2 分の 1
垂直方向の位置: 腕部の高さの中点

5.3 脚部の関節点位置の検討

予備実験の結果から, 脚部の関節点はイラストによって適切な位置は異なることが示唆されていたため, 水平, 垂直方向の位置を試行錯誤しながら, 以下の 6 種類を候補とした. (1)~(6) は図 7 に対応する.

- (1) 水平方向の位置: 胸部の側面から胸部の中心方向に胸部の幅の 4 分の 1
垂直方向の位置: 胸部の底面から上に胸部の高さの 4 分の 1
- (2) 水平方向の位置: 胸部の側面から胸部の中心方向に胸部の幅の 4 分の 1
垂直方向の位置: 胸部の底面から上に胸部の幅の 4 分の 1
- (3) 水平方向の位置: 脚の幅の中点
垂直方向の位置: 胸部の底面から上に脚部の幅の 2 分の 1
- (4) 水平方向の位置: 胸部の中心から見て脚部の内側面と胸部の外側面の中心
垂直方向の位置: 脚の内側面から胸部の外側に胸部の中心から見て脚部の内側面と胸部の外側面の距離の 2 分の 1

表 1 分類したイラストの身体的な特徴

Table 1 Appearance features of classified artworks.

	頭	腕	脚
(a)	大きい丸顔	横長	縦長, 体の端にある
(b)	胸部と同等の大きさ	横長	横長 (足首から先)
(c)	丸顔	横長	縦長
(d)	首が細い	手が腕より太い	足首から先が長い
(e)	首が太い	横長	横長
(f)	頭部と胸部が一体	腕が短い	横長 (足首から先)

表 2 イラスト (a) の評価結果 (回答人数)

Table 2 The result of artwork (a).

関節点	○	△	×
(1)	3	5	7
(2)	5	8	2
(3)	3	6	6
(4)	10	5	0

表 3 イラスト別の評価が高かった関節点の位置 (*は有意差あり)

Table 3 Glowing joint positions per artwork.

イラスト	頭部	腕部	脚部
a	4*	1 2 3	1* 2* 3* 4*
b	2* 3* 4*	1 2 3	1* 2* 3* 4*
c	1* 2*	1*	1* 2* 3* 4*
d	2*	1 2	1 2 3 4 5 6
e	4*	1* 2*	3 4
f	2*	1 2 3	2*

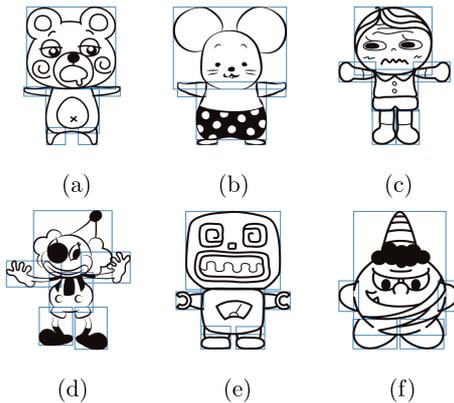


図 8 実験で使用了キャラクター

Fig. 8 Characters used in the experiment.

- (5) 水平方向の位置：胸部の中心から見て脚部の内側面から脚部の幅の 4 分の 1
垂直方向の位置：脚部の上面
- (6) 水平方向の位置：脚部の幅の中心
垂直方向の位置：脚部の上面

5.4 検討した関節点の位置に関する評価実験

5.4.1 実験方法

検討した各部位の関節点の位置を評価するための実験を行った。実験では、有名なキャラクターのイラストを収集し、それらが持つ身体的な特徴として頭、腕、脚の形状やアスペクト比に着目して 6 つに分類した。分類結果とそれに対応するイラストを表 1 と図 8 に示す。これらのイラストに対して検討した関節点をそれぞれ適用させて各部位を動かしたアニメーションを用意し、それを被験者に見せた。被験者は各アニメーションを見た後に、キャラクターの動きに違和感があるかどうかをアンケートに回答した。アンケートでは、各アニメーションにおいて、違和感がない場合は「○」、やや違和感があった場合は「△」、違和感があった場合は「×」を回答してもらった。被験者はデザイン系の学科に所属する 15 名の大学生である。

5.4.2 実験結果

結果の一例を表 2 に示す。これはイラスト (a) の頭部を (1)~(4) の関節点で動かしたときの、○、△、×と評価したそれぞれの人数である。結果を分析するために、○、△、

×をそれぞれ 2, 1, 0 の数値に変換し、ウィルコクソンの符号順位検定を用いて分析した。

各キャラクターの関節点の位置として評価が高かったものを表 3 に示す。表中の*は有意差 (p < 0.05) のあった項目である。表 3 より、すべてのイラストにおいて各部位で適した関節点を定められることが明らかになった。頭部の関節は、(2) か (4) を選択することで、多くのイラストに適用可能であるが、(a) や (e) のイラストのように、胸部に対して頭部の方がサイズが大きい場合や首が太い場合は、(4) が適しているといえる。腕部の関節は、(1) を選択することで、すべてのイラストに適用できる。脚部の関節は、多くのイラストにおいて、検討した多くの関節点の位置が適用可能であるといえる。特に、(d) のような脚が細いイラストでは、どの関節点でも違和感なく変形できる一方で、(f) のような胸部がないイラストの場合は、(2) のみが適用可能であることが分かった。

よって、各身体部位の関節点の位置は以下のように定めることとした。頭部の関節点は、胸部に対して頭部のサイズが大きいイラストは (4) の位置に、それ以外は (2) の位置に設定する。腕部の関節点は、すべてのイラストで (1) の位置に設定する。脚部の関節点は、脚部が横長のイラストは (3) の位置に、それ以外は (2) の位置に設定する。

6. 「絵モーション」の開発

6.1 概要

「絵モーション」は描画したイラストの姿勢を自在に制御可能にする手描き支援ツールである。描き手がペンで紙の上に描画したイラストの姿勢を、描き手の身体の動きに合わせて自由に変形することができる (図 9)。

絵モーションは図 10 に示すように、トレーサ台、その真上に設置された USB カメラ、PC、Kinect センサ、から

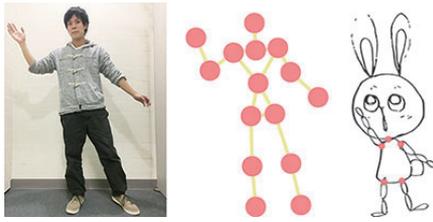


図 9 絵モーションを使用する様子
Fig. 9 Usage of E-motion.

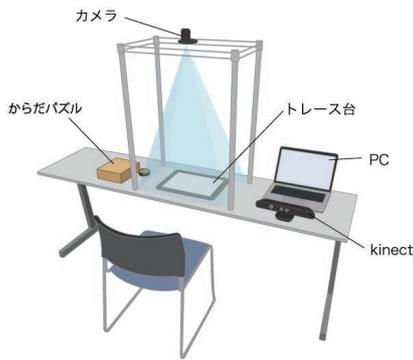


図 10 絵モーションの機器構成
Fig. 10 Configuration of E-motion.

だパズルから構成される。トレース台の上には紙が設置され、そこに描かれたイラストは USB カメラで撮影され、リアルタイムに PC で画像処理される。このときに、システムは各身体部位の分離画像を生成し、各部位の画像の形状やアスペクト比等の特徴と表 1 とを照らし合わせて、5.4.2 項の実験結果を基に、関節点を自動的に設定した全体のイラストを構成して画面に表示する。Kinect センサは描き手の身体の動きを取得するために使用される。Kinect センサは人間の 20 カ所の関節情報を取得することができる。絵モーションでは、そのうちの 15 カ所の関節情報を用いて頭部、胸部、四肢の各部位の角度を計算し、イラストの姿勢を変形する。イラストの姿勢を入力する方法としては、Glaser ら [5] が提案しているような、変形とそのセンシングが可能なモジュールの組合せにより人形のような形状の入力装置を手で動かす方法も考えられるが、たとえば左手と左足を同時に動かすというような複数の部位を同時に動かす複雑な変形を行いたい場合には、そのような人形型の装置では操作が容易ではないため、本研究では Kinect センサを利用した。Kinect センサを用いた我々の方法の場合、人間の身体能力を超えた変形を行うことができないため、漫画のような曲芸的な姿勢を生成することが難しい等の制約はあるが、本研究では、イラストが自分の姿勢と同じ姿勢になるというインターフェースとしての分かりやすさを優先した。また、身体部位の描画の重ね順は上から脚部、腕部、頭部、胸部としており、姿勢制御によって身体部位が重なった場合は脚部が最前面に表示される。絵モーションのプログラムは openFrameworks と OpenCV を用

いて開発した。

まず、描き手はからだパズルを操作しながらペンで紙の上にイラストを描画していく。すべての描画が終了したのちに、別途用意した指にはめて使用できる指輪型装置のボタンを押下すると、最適な関節点が設定された状態の再構成されたイラストが PC の画面に表示にされる。次に、描き手は Kinect センサの前方に移動し、イラストにさせたい姿勢を自らが行う。姿勢が決まったときに、再び指輪型装置のボタンを押下することで、その姿勢のイラストが PNG 形式の画像として書き出される。

6.2 絵モーションが与えるエンタテインメント体験

開発した絵モーションをせんだいメディアテークで開催された宮城大学の卒業研究・制作展と、学術情報センター・一橋講堂で開催されたインタラクティブ 2018 の 2 つの展示会場に設置し、来場者に自由に試用してもらった。著者らがその様子を観察した結果、両会場あわせて、試用した体験者は小学生から高齢者までのさまざまな年代の 50 名以上で、ほとんどの体験者が自分で描画したイラストの姿勢を制御することに成功した。絵モーションについては、ほとんどの体験者が「面白い」や「楽しい」という肯定的な反応を示した。からだパズルも好評で、描き手がイラストを描画する作業を邪魔することはなく、スムーズな操作が実現されていた。その一方で、カメラに手が映り込んでしまう場面や、会場の照明の影響でうまく画像が認識されない場面も見られた。否定的な意見の多くはイラストの撮影環境に由来するものであり、絵モーション自体は肯定的に評価された。

体験者が実際に生成したイラストのうち、6 名分のイラスト例を図 11 に示す。(a), (d), (g), (j), (m), (p) は各体験者が描いた元のイラスト、それ以外は自動で設定された関節点を用いて姿勢を制御したイラストである。どのイラストを見ても独特の趣や面白さを感じられ、手描きメディアの良さが維持されていることが分かる。子どもの体験者の中には、自分の描いたイラストが自分と同じ姿勢を取るといふ今までにない体験をし、繰り返し夢中で絵モーションでのお絵描きを楽しむ子どももいた。また、絵を描くことが苦手な子どもは最初は絵モーションを使用することに抵抗を感じていたが、親の描いたイラストを動かして遊ぶことをきっかけに自分で絵を描き始める様子も見られた。大学生の場合、(n) のように自分の身体能力の限界に挑戦するというような、我々の想定を超えた遊び方も見られた。このように、絵モーションは多くの体験者に新鮮なエンタテインメント体験を与えることができていた。特に、からだパズルと関節点の自動推定がもたらした、コンピュータを使用しているように感じさせないアナログなお絵描き体験がそのようなエンタテインメント体験に寄与していたと考えられる。

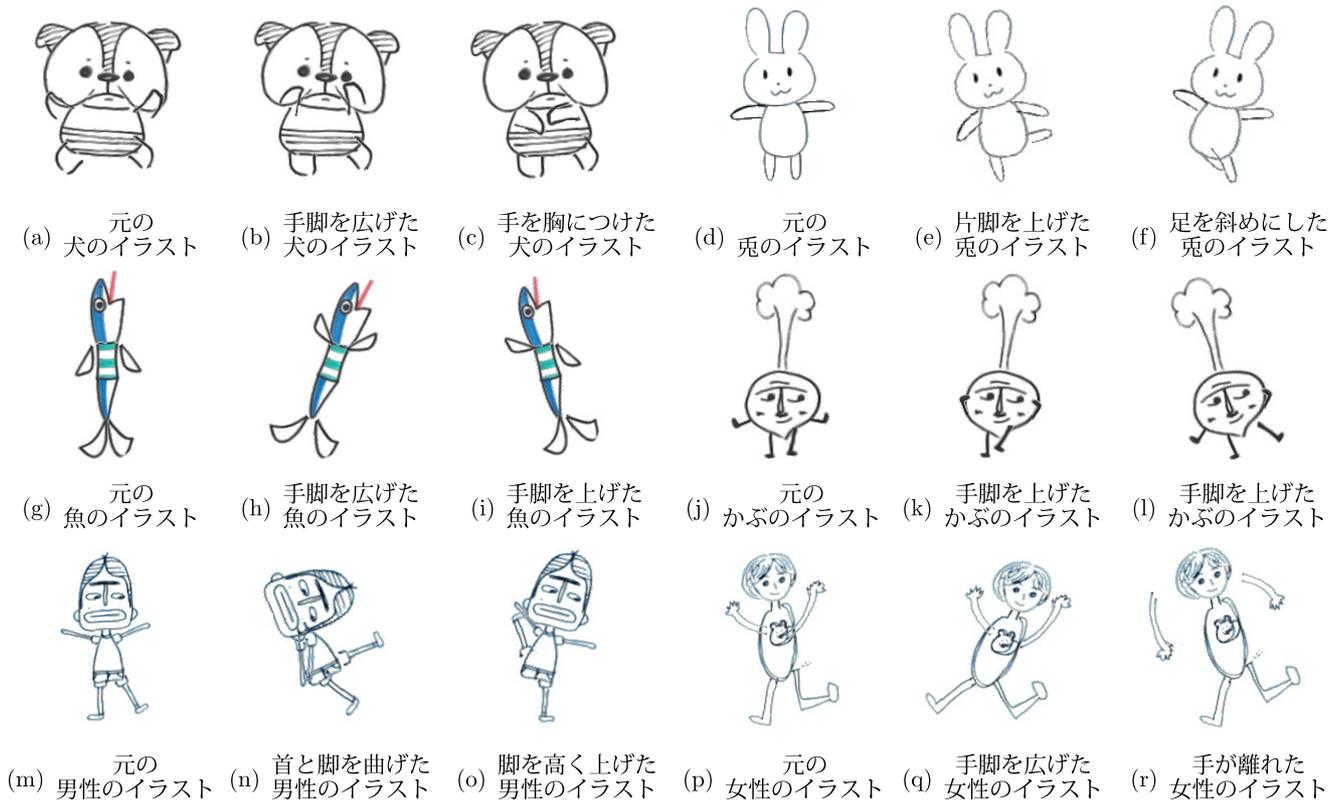


図 11 絵モーシヨンの体験者が描画した元のイラストと姿勢を変えたイラストの例

Fig. 11 Artworks generated with E-motion.

6.3 試用に基づく関節点推定の評価

6.2 節で述べた試用において体験者が描いたイラストについて、関節点推定の観点から評価する。この試用で得たイラストは図 11 に示した 6 つ以外にも数多くあり、幅広い年齢層の日本人に加えて、外国人やプロのデザイナーが描画したイラストも含まれていた。これらのイラストをすべて確認したところ、画風は体験者ごとに特徴的であり、描画の技量も体験者によって大きく異なることが推察された。しかしながら、操作ミス等でイラストの描画に失敗してしまったイラストを除いて、ほとんどのイラストで関節点の推定が正しく機能していた。このことは、描画の技量やイラストの画風等にかかわらず、多種多様な 2 次元キャラクターのイラストにおいて本研究で開発した関節点推定が機能することを示唆しており、2 次元キャラクターのデザイン空間をある程度網羅的に分割できていると考えられる。今回は対象とするイラストを限定しており、適用可能なイラストに制限があるが、この制限を取り払うためのアルゴリズム開発は今後の課題である。

また、図 11 の (o) と (r) は、関節点の推定に失敗した例である。(o) では、胸部と脚部の一部が重なった位置に描画され、オクルージョンが発生したことが失敗の要因である。本研究の関節点推定アルゴリズムは、身体部位どうしの位置関係を基準に関節点を設定しており、それらの接続部分に近い位置でオクルージョンが発生した場合には適

切でない位置に関節点を設定してしまうことがある。オクルージョンの発生した位置や大きさは、システムにより検出できるため、今後はそれらの情報を用いてオクルージョンに対応可能なアルゴリズムの検討が必要である。(r) では、腕部を描画する際に、腕部とは関係のない離れた位置に誤って線を描画してしまい、腕部領域が正しく検出されなかったことが失敗の要因である。からだパズルにより各身体部位の画像を生成する際に、小さな点や線はノイズとして除去しているが、除去できる大きさを超えていた不要な点や線を描画時に部位と関係ない場所に描画してしまうと関節点が適切でない位置に設定されてしまう。これは、誤って描画した点や線を消すことで解消できる問題であるため、今後は消しゴム機能のようなツールの実装を検討する。

7. 結論

本研究では、紙やペン等のアナログツールを用いて描画されたキャラクターのイラストの姿勢を自在に制御可能にするために、描画したイラストから身体部位を分離した画像を生成するための手法、および身体部位どうしをつなげる関節点の位置を自動で設定する手法を考案し、それらを組み込んだ手描き支援ツール「絵モーシヨン」を開発した。絵モーシヨンでは、だれでも容易に扱えるというアナログツールの良さを活かすために、描き手にコンピュータを

使っている感覚を与えないような支援を実現し、だれもが手軽に手描きで描画したイラストの表現を拡張できるようになった。

一方で、本研究で開発した手法やツールには、以下のような適用可能な範囲や制限が存在する。第1に、本研究で開発した各手法とツールは、頭部、胸部、四肢を持つイラストに限定して適用可能である。これについては、からだパズルを細かくすることで多くの身体部位への対応は可能である。加えて、たとえば尻尾や角等の人間が持たない身体部位を持つキャラクターの姿勢を変形する場合は、その部位につながった他の部位の動きに連動して変形させる等の工夫で対応できる。第2に、イラストを描画する際は、正面、直立、腕を横に伸ばした状態のイラストを描画してもらう必要がある。今後は手軽さを維持しつつ、任意の姿勢のイラストから、別の姿勢のイラストを生成するアルゴリズムを検討したい。第3に、今回の絵モーションの実装では、身体部位の描画の重ね順は、上から脚部、腕部、頭部、胸部としたため、胸部の後ろに手を回すようなイラストは生成できない。本研究で使用した Kinect センサが胸部の後ろに隠れた手を上手く認識できない場合があることも、今回の手法の限界としてこのような制限が存在する要因である。今後は、別のセンサの使用や、重ね順を考慮したアルゴリズムの開発等により、このような制限を取り除くことを目指す。第4に、現在の絵モーションのシステム構成では、描き手がイラストを描画するトレース台の周囲に、PC や Kinect センサ、カメラ等が描き手から見える状態で配置されている。描き手にコンピュータを使っている感覚を与えないような支援を深化させるために、今後はこれらの装置が描き手から見えないような機材構成や場の作り込みを検討する。

参考文献

- [1] Adobe Character Animator, available from (<https://www.adobe.com/jp/products/character-animator.html>).
- [2] Live2D, available from (<https://www.live2d.com/>).
- [3] Cao, Z., Simon, T., Wei, S.-E. and Sheikh, Y.: Real-time Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields, *2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp.7291–7299 (2017).
- [4] Chen, J., Izadi, S. and Fitzgibbon, A.: KinÈtre: Animating the World with the Human Body, *ACM SIGGRAPH 2012 Talks*, pp.39:1–39:1 (2012).
- [5] Glauser, O., Ma, W.-C., Panozzo, D., Jacobson, A., Hilliges, O. and Sorkine-Hornung, O.: Rig Animation with a Tangible and Modular Input Device, *ACM Trans. Graphics*, Vol.35, No.4, pp.144:1–144:11 (2016).
- [6] Igarashi, T., Moscovich, T. and Hughes, J.F.: As-Rigid-As-Possible Shape Manipulation, *ACM Trans. Computer Graphics*, Vol.24, No.3, pp.1134–1141 (2005).
- [7] Joshi, P., Meyer, M., DeRose, T., Green, B. and Sanocki, T.: Harmonic Coordinates for Character Articulation, *Proc. 2007 ACM SIGGRAPH* (2007).
- [8] Lipman, Y., Levin, D. and Cohen-Or, D.: Green Coordinates, *Proc. 2008 ACM SIGGRAPH*, pp.78:1–78:10 (2008).
- [9] Papandreou, G., Zhu, T., Chen, L.-C., Gidaris, S., Tompson, J. and Murphy, K.: Personlab: Person Pose Estimation and Instance Segmentation with a Bottom-Up, Part-Based, Geometric Embedding Model, *The European Conference on Computer Vision*, pp.1–21 (2018).
- [10] Su, Q., Bai, X., Fu, H., Tai, C.-L. and Wang, J.: Live Sketch: Video-Driven Dynamic Deformation of Static Drawings, *Proc. 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.662:1–662:12 (2018).
- [11] 鈴木啓晃, 岡 良祐, 渡辺賢悟, 宮岡伸一郎: 人物イラストのポーズ変更ツールの開発, *芸術科学会論文誌*, Vol.12, No.2, pp.74–81 (2013).
- [12] 林 凌平, 鈴木 優: 部位ごとに描き分けられた絵の関節点を一意に定める方法の検討, *エンタテインメントコンピューティング2017 論文集*, pp.163–167 (2017).
- [13] 林 凌平, 鈴木 優: 絵モーション: 1つの絵を描くだけでだれもが容易にさまざまなポーズの絵を描くことを可能にするツール, *インタラクシオン2018 論文集*, pp.1020–1023 (2018).



鈴木 優 (正会員)

1984年生。2011年筑波大学大学院システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻博士後期課程修了。博士(工学)。2011年京都産業大学特約講師。2013年宮城大学助教。2018年より同大学准教授。インタラクシオンデザインに関する研究に従事。電子情報通信学会、ヒューマンインタフェース学会、ACM各会員。



林 凌平

1995年生。2018年宮城大学事業構想学部デザイン情報学科卒業。在学中は手描きメディアに関する研究に従事。現在、トランスコスモス株式会社でWebデザインに従事。