

令和 5 年 5 月 25 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2022

課題番号：19K20316

研究課題名（和文）現場で働くプロの手描きデザイナーのための対話的なセルアニメ制作支援ツール

研究課題名（英文）Interactive design system for cel-animated works

研究代表者

福里 司（Fukasato, Tsukasa）

東京大学・大学院情報理工学系研究科・助教

研究者番号：30809968

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：セルアニメ作品の制作における「デザイナーの手間の簡略化」を目標とする支援技術を開発した。これまでのアニメ制作に関する研究は、画像認識や物理エンジンなどの全自動システムであるため、セルアニメのような「物理的な矛盾」や「デザイナーの感性や意図（こだわり）」を反映させることが困難であった。そこで本研究は、セルアニメ作品の制作工程及び、プロのデザイナーが用いる要素技術に着目し、これらを計算機上で再現するシステムを実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

CG技術は「一つの解」を導き出す手法に過ぎず、デザイナーによるこだわり（例：物理的な矛盾）を含むセルアニメ作品の制作には不向きである。その結果、セルアニメ作品を制作する際、デザイナーに膨大な（経験的な）知識や多大な作業時間を要求してしまう現状にあった。本研究の研究成果は、制作現場における経験的な技法を計算機上で再現することで、今後の映像現場における根本的な問題（例：人手不足）の解決につながると考えられる。

研究成果の概要（英文）：We have developed assistive technologies aiming at "simplifying the designer's labor" for cel-animated works. Previous techniques have used fully-automated systems such as image recognition and physics engines, making it difficult to reflect the designer's intention (e.g., physical inconsistency). Therefore, this research focused on the production process of cel-animated works and professional designers' empirical skills, and realized a system that reproduces them on a computer.

研究分野：コンピュータグラフィックス

キーワード：コンピュータグラフィックス ユーザーインターフェース

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

アニメ作品やゲーム作品などの効率的に制作することを目的として、CG 技術が注目を集めている。通常の CG 技術は物理方程式や 3D モデルを用いるため写実的な描写に優れている一方、セルアニメのように「物理的な矛盾」や「デザイナーのこだわり」を含む作品の制作には不向きである。その結果、実際のアニメ制作現場では、大人数のデザイナーによる手作業によってアニメ制作がなされている。この方法は、デザイナーに膨大かつ経験的なスキルを要求すると共に、多大な作業時間と労力が要求してしまう問題が発生している。更に、大人数で制作する場合、修正段階において「具体的にどこ部分を具体的に修正すればよいのか」を判断すること自体が難しく、結果的にすべてを作り直さなければならない非効率さに関する問題も存在する。

2. 研究の目的

本研究の目的は、セルアニメ制作の各工程に対するデザイナーが用いる（経験的な）技法を計算機上で再現することで、セルアニメ作品制作における「制作の非効率さ」を解決することである。具体的には、大きく分けて四つの課題に取り組む。まず、セルアニメを構成する要素「(高品質な)一枚のイラスト」を描くための技術の研究開発を行う。特に、特別なデバイスが必要とせず、デザイナーが制作に用いる程度のスペックの計算機を想定した形状処理手法や機械学習モデルを検討する。次に少数のイラストからキャラクターの動きを演出する中割画像の生成技術の開発を行う。更に、セルアニメ作品の背景部に登場するエフェクト（例：流体）の動きを設計するための技術を行う。最後に、これらの技術（インタラクション技法）を応用し、近年のセルアニメ作品にも登場する 3D キャラクターのデザインシステムについても取り組む。

3. 研究の方法

2019 年度は、主に流体エフェクトの動きをデザインするためのスケッチツールの構築を行った。物理シミュレーションは高品質な映像を生成できる一方で、拘束条件（例：速度場や圧力など）を設定しなければならない。これは、アニメ制作現場に物理シミュレーションの技術を導入するうえで大きなハードルになっている。この問題に取り組むために、不定形なエフェクト（例：液体や炎など）を描く際に用いられる「矢印」による拘束条件の入力方法として検討した。矢印は方向や長さによって、位置やどの程度動くのかを表すのに非常に便利なツールである。但し、アニメーターが描く矢印は物理的には必ずしも正しいわけではないので、物理シミュレーションにおける拘束条件として直接用いることはできない。そこで、「手描きの矢印線」と「物理ベースの流体表現における拘束条件」をペアで構築されたデータベースを作成し、収集したペアに存在する特徴（対応関係）の学習を行った。この学習結果（対応関係）を用いることで、任意の手描き矢印線から流体の「拘束条件」を適切に推定できることを示した。

2020 年度は、前年度に開発したスケッチシステムを応用し、主に 3DCG モデルの構築方法について検討した。3DCG モデルを作成するためには、「三次元の立体物を想像する力」や「3DCG モデルを構成する要素（頂点や面、法線、テクスチャ情報）を、視点を変更しながら作成する力」が求められる上に、多大な作業時間がかかる問題があった。その結果、実際の現場では(1)手描きデザイナーが 3D モデルの(2次元的な)設計図を描き、(2)3DCG モデラは設計図を見ながら 3D モデル制作を行う分業制が用いられている。しかし、この方法は決して効率的な方法ではない。例えば、設計図の意図を他人に伝えるために時間をかけて、大量の情報（複数視点のイラストや拡大図など）を描き込む必要がある。更にデザイナーとモデラ間での意見の食い違いによる品質の低下などの問題が発生しやすい。このような背景のもと、設計図を描くプロの手描きデザイナー自らが（複雑な操作なしに）高品質な 3D モデルを制作できるようなフレームワークを実現するために、ペイントインタラクション技術を応用した新たなモデリング手法を提案した。

但し、セルアニメ作品に登場するオブジェクトは三次元的に矛盾する形状が多数存在するため、3DCG モデルを直接使用することが難しかった。そこで、3DCG モデルの表現力自体を向上させるために 3DCG モデルを視点位置に合わせて変形させるデフォーマを開発し、アニメ作品との親和性の向上を図った。

2021 年度は、主にデザイナーが絵を描く工程自体を支援する技術に着手した。綺麗な線画を描くには「完成図を想像するスキル」や「全体のバランス（大域特徴）を整えつつ、詳細な部位（局所特徴）を描くスキル」が求められる。しかし、これらの技術を取得するには数年単位の時間を要し、一般ユーザにとっては非常に難しいタスクである。そこで申請者は、ユーザがキャンバス

上に描いたイラストの途中経過を基に、「ユーザが何を描きたいのか」をリアルタイムに予測し、大域的なガイダンスと局所的なガイダンスを生成するデータドリブンな手法を考案した。また、線画ガイダンスの生成に用いるデータベースを効率的に構築するために、写真やイラストから線画データを自動抽出するタスクに特化した機械学習モデルや、複数の線画データの間を滑らかにつなぐ中割り画像を設計するための「対応付け」タスクに特化したユーザインターフェースも考案した。更に、これらの研究の技術基盤となっている画像処理や機械学習モデルのプログラムを開発する工程自体を効率化するプログラミング支援技術や、前年度に着手した 3D モデリング支援ツールの拡張技術についても検討した。

また、(パラパラ漫画のように) キャラクタの動きを表現する中割り画像を生成するために、二枚のイラスト線画の対応付け問題を解くための手法として「Skeleton2Stroke」を考案した。この手法は、2枚のイラスト線画間における「ストローク」を直接対応付けるのではなく、ストロークで構成された閉領域間の(大域的な)対応付けと閉領域内の(局所的な)ストロークの対応付けという二段階のステップに分け、それぞれに対する最適化問題を定義した。この手法によって、既存手法よりも精度の向上を実現し、この結果を用いて効率的な中割り画像の生成を実現した。

2022 年度(最終年度)は、デジタル作画の品質を向上させるための要素技術について検証した。綺麗なデジタル作画を作成するために、純粋な手描きストロークの代わりに、パラメータで表現された「パラメトリック曲線」が用いられている。しかし、既存のパラメトリック曲線(例: Catmull-rom Spline 曲線や k-Curve)は、鋭い角度を持つ形状の表現や曲線の曲がり具合の調整が難しいといった様々な課題が存在する。そこで、申請者は、より複雑な形状を表現可能なパラメトリック曲線「PPWCurve」を提案した。本技術の有用性を検証するために、既存手法との比較検証(視覚的な比較や数値比較)を行った。更に、制作したイラストに衣服の柄などのテクスチャを立体的かつ自然に貼り付けるためのユーザインターフェースを提案した。これまでの既存研究と異なり、立体的な構造を維持したまま、デザイナーの自由な意思を反映したテクスチャ編集を実現できる。

4. 研究成果

研究期間全体を通し、ユーザが一枚の絵を描くための支援システム、キャラクターの動きを設計するための中割り画像作成、(背景に登場する)流体エフェクトを制作するためのスケッチツール、3DCG モデル制作システムに加え、それらの技術を実現するための要素技術(例: 機械学習モデルやプログラミング支援技術)を開発した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Huang Zhengyu, Peng Yichen, Hibino Tomohiro, Zhao Chunqi, Xie Haoran, Fukusato Tsukasa, Miyata Kazunori	4. 巻 8
2. 論文標題 DualFace: Two-stage drawing guidance for freehand portrait sketching	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Computational Visual Media	6. 最初と最後の頁 63~77
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s41095-021-0227-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Tsukasa Fukusato, Seung-Tak Noh, Takeo Igarashi, Daichi Ito	4. 巻 9
2. 論文標題 Interactive Meshing of User-Defined Point Set	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Computer Graphics Techniques	6. 最初と最後の頁 39--58
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Hu Zhongyuan, Xie Haoran, Fukusato Tsukasa, Sato Takahiro, Igarashi Takeo	4. 巻 30
2. 論文標題 Sketch2VF: Sketch based flow design with conditional generative adversarial network	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Computer Animation and Virtual Worlds	6. 最初と最後の頁 1889:1--1889:11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/cav.1889	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 NOH Seung-Tak, HARADA Hiroki, YANG Xi, FUKUSATO Tsukasa, IGARASHI Takeo	4. 巻 E105.D
2. 論文標題 PPW Curves: a C2 Interpolating Spline with Hyperbolic Blending of Rational Bezier Curves	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Information and Systems	6. 最初と最後の頁 1704~1711
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/transinf.2022PCP0006	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Fukusato Tsukasa, Shibata Ryohei, Noh Seung Tak, Igarashi Takeo	4. 巻 33
2. 論文標題 Interactive texture editing for garment line drawings	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Computer Animation and Virtual Worlds	6. 最初と最後の頁 e2117:1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cav.2117	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計18件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 Chunqi Zhao, I-Chao Shen, Tsukasa Fukusato, Jun Kato, and Takeo Igarashi
2. 発表標題 ODEN: Live Programming for Neural Network Architecture Editing
3. 学会等名 Proceedings of 26th International Conference on Intelligent User Interfaces (IUI) 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ryoma Miyauchi, Tsukasa Fukusato, Haoran Xie, and Kazunori Miyata
2. 発表標題 Stroke Correspondence by Labeling Closed Areas
3. 学会等名 NICOGRAPH International 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Zhengyu Huang, Haoran Xie, and Tsukasa Fukusato
2. 発表標題 Interactive 3D Character Modeling from 2D Orthogonal Drawings with Annotations
3. 学会等名 International Workshop on Advanced Image Technology 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ryoma Miyauchi, Yichen Peng, Tsukasa Fukusato, and Haoran Xie
2. 発表標題 Skeleton2Stroke: Interactive Stroke Correspondence Editing with Pose Features
3. 学会等名 ACM SIGGRAPH ASIA 2021 Technical Communications (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuka Ikarashi, Jonathan Ragan-Kelley, Tsukasa Fukusato, Jun Kato, and Takeo Igarash
2. 発表標題 Guided Optimization for Image Processing Pipelines
3. 学会等名 Proceedings of the IEEE Symposium on Visual Languages and Human-Centric Computing (VL/HCC) 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Zhengyu Huang, Yichen Peng, Haoran Xie, Tsukasa Fukusato, and Kazunori Miyata
2. 発表標題 One-shot Line Extraction from Color Illustrations
3. 学会等名 NICOGRAPH International 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tsukasa Fukusato, Seung-Tak Noh, Takeo Igarashi, and Daichi Ito
2. 発表標題 Interactive Meshing of User-Defined Point Set
3. 学会等名 ACM SIGGRAPH Symposium on Interactive 3D Graphics and Games (I3D) 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Itsuki Orito, Xi Yang, Kazutaka Nakashima, Tsukasa Fukusato, Takeo Igarashi
2. 発表標題 Distorted Perspective for the Forward Camera Dolly
3. 学会等名 ACM SIGGRAPH ASIA 2020 Technical Communications (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 折登 樹, 楊 溪, 中島一崇, 福里 司, 五十嵐健夫
2. 発表標題 奥行方向への移動に対する非写実的なパースのインタラクティブな設計手法
3. 学会等名 第28回 Visual Computing
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高野瑠人, 福里 司, 五十嵐健夫
2. 発表標題 流体エフェクト制作のための動画コラージュシステム
3. 学会等名 第28回 Visual Computing
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 胡 鐘元, 謝 浩然, 福里 司, 佐藤雄大, 五十嵐健夫
2. 発表標題 Sketch2VF: 条件付きの敵対的生成ネットワークを用いたスケッチベースの流体アニメーション制作
3. 学会等名 第28回 Visual Computing (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuka Takahashi、Tsukasa Fukusato、Takeo Igarashi.
2. 発表標題 PaintersView: Automatic Suggestion of Optimal Viewpoints for 3D Texture Painting
3. 学会等名 ACM SIGGRAPH ASIA 2019 Technical Brief (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 福里 司、盧 承鐸、五十嵐健夫、伊藤大地
2. 発表標題 ペイントインターフェースを用いた点群面張り作業
3. 学会等名 第27回 Visual Computing (VC2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋祐花、福里 司、五十嵐健夫
2. 発表標題 3Dペインティングのための最適視点提示手法
3. 学会等名 第27回 Visual Computing (VC2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木 健、福里 司、五十嵐 健夫
2. 発表標題 模写による絵の練習支援のためのインタラクティブなメッシュガイダンスの生成
3. 学会等名 第27回 情報処理学会シンポジウム(インタラクシオン2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 塩田悠真, 趙春琪, 福里 司, 五十嵐健夫
2. 発表標題 ペン速度を考慮したスケッチベースのモーションデータ検索.
3. 学会等名 第30回 Visual Computing + VC Communications (VC+VCC2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木 健, 福里 司, 五十嵐 健夫
2. 発表標題 イラスト模写を支援するための対話的なメッシュベースのガイダンス生成
3. 学会等名 第30回 Visual Computing + VC Communications (VC+VCC2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 福里 司
2. 発表標題 アニメ作品を効率的に制作するための対話的なシステムの開発
3. 学会等名 情報処理学会CGVI研究会第187回研究発表会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>dualFace http://www.jaist.ac.jp/~xie/dualface.html ODEN https://haremi.xyz/projects/oden/oden.html Sketch2VF http://www.jaist.ac.jp/~xie/sketch2vf.html PaintersView https://yamaguchi1024.github.io/paintersview-doc/ Interactive Texture Editing https://sites.google.com/view/tsukasafukusato/projects/iteglid</p>
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------