

## LinDA：漫画向けの建造物の背景線画半自動生成

中山 雅紀<sup>1)</sup>(正会員) 野村 芽久美<sup>2)</sup> 藤代 一成<sup>1)</sup>(正会員)

1) 慶應義塾大学 理工学部 2) 慶應義塾大学 大学院 理工学研究科

## LinDA: Semi-Automatic Generation of Line Drawings for Building Background in Manga

Masanori Nakayama<sup>1)</sup> Megumi Nomura<sup>2)</sup> Issei Fujishiro<sup>1)</sup>

1) Faculty of Science and Technology, Keio University

2) Graduate School of Science and Technology, Keio University

{nakayama, megumi.nomura, fuji}@fj.ics.keio.ac.jp

### 概要

近年、専門的なスキルのない作者でもデジタル漫画を描く機会が増えてきている。全コマに背景を描くには多大な時間を要するため、フリー素材の写真や線画を自作に利用することがある。しかし、汎用性を重視するフリー素材をそのまま漫画に挿入しても、素材の線画には作者自身の特徴をもたせられず、手描きオブジェクトに馴染まない場合がある。そこで本論文では、手癖が線分の角度に依存する事実に着目し、建造物のベクタ線画を手描き風の線画に半自動的にスタイル転写する手法を提案する。その手法を実装したシステム—LinDA (Line Drawing Artist) を用いた評価実験の結果、転写後の線画には描き手の手癖が反映されているという評価が得られた。また、提案手法により、作画時間短縮化および作業負荷軽減の効果も実現されることが分かった。

### Abstract

Many novices have recently utilized digital paint tools to create their manga. It is time-consuming for those to prepare the background, therefore they often used to use reusable materials. However, such materials lack characteristics of hand-drawn strokes, and the converted backgrounds possibly do not fit into the foreground. In this paper, a semi-automatic method for stylizing a line drawing of buildings is proposed by taking into account angle-dependent hand motion of drawing. An experiment with a proposed system called LinDA empirically proves that the stylized background line drawings reflect the artists' own characteristics with reduced time and subjective workload.

## 1 まえがき

非写実的レンダリング (non-photorealistic rendering) は強調や省略などの表現を用いて、芸術的なイメージを生成する技術である。そのなかでも漫画は、複数のイラストと文字を組み合わせた特徴的なコンテンツとして研究が盛んである。漫画制作工程のなかでも、線画作成は重要な工程である。従来、漫画は紙とペンで描かれてきたが、近年ではフルデジタルで作成されることも多い。イラストツールの多くは、タブレットを併用して筆圧による太さの変化や揺らぎを表現し、アナログな印象を与えるストロークを再現している。CG の分野においても近年では、スタイル転写 (style transfer) [1] の技術が著しく発展しているが、漫画の線画作成に焦点を当てた研究はほとんど知られていない。

多くの漫画は複数のコマで展開されるが、初心者が全てのコマに背景を描くには多大な時間を要する。それを効率化する手段の一つは、汎用的な素材として配布されている写真や線画を使用することである。しかし、そのような背景をそのまま漫画に挿入しても、近景との間に画風の不整合が生じて、一枚の絵としての統一感が低下してしまう。素材の線画に手描きストロークのような揺らぎの特徴をもたせ、背景の作画を自身のテイストに近づけるのは、漫画家の強い要望である。

そこで本論文では、均一に描かれたベクタ線画を、描き手の手描き風の線画に半自動的に変換する手法を提案する。特に幾何学的な繰返し構造が顕著である都市景観に注目し、直線分により構成された建造物のシーンに限定する。本研究においては単コマへの適用例を示しているが、一度入力したストローク情報は、他の類似したコマの背景にも利用可能なため、漫画作品全体では作画作業の大幅な向上が期待できる。

本論文ではまず、予備実験によって、ストロークの太さの変化や揺らぎなどの手癖の主要な発生要因として、線分の角度が関係することを明らかにする (3章)。そして、線画の各線分の特徴を、角度によって変化する濃淡変化情報として定量的に示し、特徴の類似度によって線分を分類する。その結果に応じて、スタイル転写によってストロークを変換する (4章)。さらに、この提案手法を実装したシステム—LinDA (Line Drawing Artist) [2] [3] [4] を用いて作者の手癖を反映した線画を

生成する (5章)。最後に LinDA を用いた線画作成に関する評価を通じて、本手法による手癖を考慮した背景線画半自動生成の有効性を議論する (6章)。

## 2 関連研究

本章では、従来研究との比較を通して、本論文の位置づけを明確にする。

### 2.1 線画作成の支援

Simo-Serra ら [5] は、畳込みニューラルネットワークを用いて、ラフスケッチから線画を自動生成するツール—SmartInker を開発した。Fišer ら [6] は、フリーハンドで描かれたスケッチを自動的に修正・美化するシステム—ShipShape を開発した。いずれの研究も、より短時間で簡単に整った線画を提供する目的をもつが、ユーザごとの手癖は考慮されていない。

Xing ら [7] は、類似オブジェクトの繰返し描画を回避するために、ユーザの作画を予測し、自動作画する手法を提案した。ユーザのストロークを分析するため、手癖は反映されやすい。しかし用途がスケッチに限定されており、漫画制作で時間削減として用いられる既存の線画には対応できない。

### 2.2 ストロークベースのスタイル転写

Lu ら [8] は、筆圧やペンの傾斜情報を含む高次元入力デバイスで描画したサンプルストロークを、マウスなどの低次元入力デバイスで描画されるストロークと合成することで、単純な入力から変化に富んだストロークを生成した。Yang ら [9] は、花の写真を対象として、各ストロークに着目し、写真から中国風の特徴的な絵画を作成する手法を提案した。これらの研究は、ストロークベースのスタイル転写によって手描き感を感じさせるイラストを作成できる。しかし、ユーザが求めるストロークの特徴が変化するたびに、それに対応したライブラリや絵画を用意する必要がある。

### 2.3 提案手法の位置づけ

線画の自動作成は、作業の単純化と時間・作画コストの削減という点で有効である。特に、読者を漫画の世界観に引き込むために重要であるにもかかわらず、作画に時間を要する背景画において、その生産性の向上はひじょうに大きい。作者であるユーザの手描き感が損なわれやすいという課題に対し、前節で紹介したような、ユーザが手描きしたストロークをサンプルとするスタイル転写

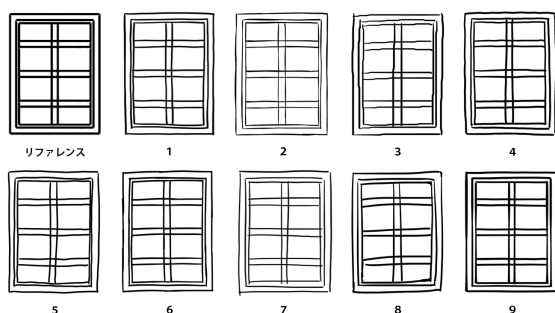


図1 予備実験参加者1~9のストロークサンプル

で対処できると考えられる。本論文では、ウェーブレット変換に基づく“線分特徴量”という新しい概念を導入することで、線画中の幾何的に類似した線分を分類し、作者から提供される少数のサンプルストロークを効果的に配置・転写する手法を提案する。

### 3 手法の前提と方針

本章では、対象線画に関する前提を明らかにし、手法の方針を決定するための予備実験について説明する。

#### 3.1 入力線画の前提

1章でも述べたように、本論文における入力線画は、建造物の線画に限定する。図1は、次節の手癖検証実験において、9名の実験参加者から提出された、同図左上のリファレンスを同じ条件でなぞった窓枠のサンプル群である。窓枠ひとつとっても、作者によってストロークの特徴は大きく異なる。そこで、建造物に適用の対象を限定しても、手癖を反映させて手描き風線画を作成する提案手法の意義は十分に成り立つと考える。

#### 3.2 手癖の定義と仮定

線分の角度によってストロークの手癖が異なるという仮説を検証するために予備実験を行った。以下に実験の手順を説明する。なお、本節に限り、ユーザが線分をなぞったストロークを“筆線”と呼称する。

- (i) 以下の条件で各実験参加者が線画をなぞる；
  - (A) タブレットとスタイラスペンを使用
  - (B) 同じ種類のペンを使用
  - (C) フリーハンドで描画
  - (D) キャンバスの回転を禁止
  - (E) キャンバスの拡大・縮小を許可
- (ii) 線画から垂直・水平な線分を10本ずつ、右肩下がり、右肩上がりの斜線を5本ずつランダムに選ぶ

表1 抽出筆線と角度別筆線クラスタとの平均類似度

抽出筆線	クラスタ			
	縦線	横線	斜線 A	斜線 B
縦線 -1	0.0078	0.0265	0.0405	0.0467
縦線 -2	0.0140	0.0349	0.0294	0.0400
横線 -1	0.0439	0.0221	0.0848	0.0870
横線 -2	0.0179	0.0158	0.0598	0.0620
斜線 A-1	0.0421	0.0625	0.0159	0.0306
斜線 B-1	0.0574	0.0804	0.0279	0.0216

(それぞれ縦・横・斜線A・斜線Bクラスタとよぶ)；

- (iii) 各クラスタからランダムに抽出した筆線に対し、各クラスタ内の各筆線との輪郭の類似度を計算する；
- (iv) 各クラスタ内のすべての筆線との類似度を平均し、クラスタ単位での類似度とする；
- (v) その筆線に対する各クラスタの類似度を比較する。

選ばれた筆線に対する全4種のクラスタの類似度を比較して、筆線と同一の角度であるクラスタの類似度のみが高い場合、その筆線は、所属クラスタ特有の特徴を有していると判断できる。筆線の輪郭抽出には、ノイズの誤検出が少なく、弱いエッジも検出できる Canny アルゴリズムを用いた。また、筆線の類似度計算には、画像比較の特徴量である Hu 積率を用いた。具体的には、基本的な画像の特徴量である粗積率を求め、そこから並進不変量である中心積率を算出し、さらにスケール不変量への変換を経て、最終的にアフィン不変量となる Hu 積率が導出される。

上記の手順で、9名の線画から6本ずつ選んだ筆線に対する各クラスタの類似度を算出した。そのなかで最も顕著にクラスタごとの特徴が表れた実験参加者1の結果を表1に示す。他の結果は文献[4]を参照してほしい。

各抽出筆線に対して最も類似したクラスタを青色のセルで表す。いずれの抽出筆線も、本来所属しているクラスタと最も類似する結果となった。Hu 積率はその特性上、比較対象と類似しているほど値が小さくなるが、筆線の傾きの影響は受けない。それでもクラスタごとの相関が得られたということは、クラスタごとに特有の特徴が存在することの証しである。

### 4 提案手法

本章では提案手法について説明する。LinDA における処理工程と、対応する後続の節番号を図2に示す。

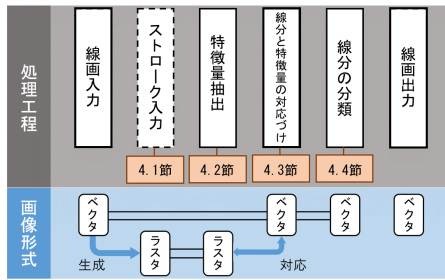


図2 LinDAにおける処理工程と画像形式

#### 4.1 サンプルストロークの入力

入力および出力するベクタ線画の各線分は、4個の制御点から構成される三次ベジエ曲線で定義されている。入力線画の線分は、均一な太さの黒いストロークに統一している。

ユーザはペンタブレットを使用して、ストロークを入力し、サンプルとして登録する。線画を半透明で表示するトレーシング機能を使用して、ユーザは線画のなかで線分の角度の種類に合わせて、いくつかの代表的な線分をなぞる。ストロークに最も近い線分を検索することで、なぞった線分を特定し、その線分とストロークのズレを、手癖として記録する。

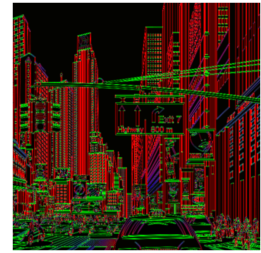
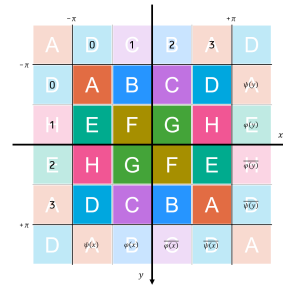
#### 4.2 点特徴量の算出

本手法では、線分の角度を検出するために、線画を一旦ラスタライズしたうえで、画素ごとに離散ウェーブレット変換を適用する。線分のベクトルデータから直接角度を算出しない理由は、線分の角度だけでなく、線分同士の交差状況も含めて特徴量を定義するためである。

特に、偶関数のみで構成される一般的な実数型ウェーブレットでは、水平・垂直・斜めと45°刻みで三方向しか判別することができないが、奇関数を含む複素型ウェーブレット [10] では、位相差を検出することが可能なため、30°刻みで6方向のエッジ検出が可能となる (図3)。

#### 4.3 線分特徴量の算出

入力線画がベクタ線画であるのに対し、特徴量抽出は画素単位で処理されるため、線分と対応すべき画素を対応づけて、各線分がもつ特徴量を定義する。図4に示すように線分を等分割し、分割位置付近の画素の加重平均をとり、線分上の部分的な特徴量とする。この一連の処理により、同一の線分上であっても、場所によってエッジ成分が異なり、角度と同時に周辺環境も加味された線分全体の特徴量が定義される。



(a) 空間周波数領域の分割 (b) 方向別のエッジ検出

図3 複素ウェーブレット変換によるエッジ検出

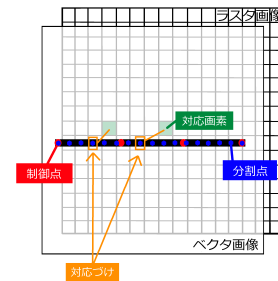


図4 ラスタ画素とベクタ線分の対応付け

#### 4.4 ストロークの分類

事前に登録されたストロークと、線画中の線分を対応づけるために、線分特徴量の比較による検索を行う。しかし、各点の特徴量は、画素の解像度に依存するため、一本の線分のなかで空間スケールが変化するような状況、例えば強いパースがかかった線分の特徴量は扱いにくい。本来ならば平行線で、特徴量が一致する直線分群であっても、強い射影変換がかかると、異なる傾きの線分として認識される可能性がある。射影変換を用いずに、三次元空間に存在する直線分を直接取り扱うオブジェクト空間アプローチも考えられるが、漫画の作品によってはそもそも完全な三次元構造を有していない画風もあり得るため、本手法では、画像空間での評価を目指し、消失点を検出することで、特徴量を補完するアプローチを採用することにした。

##### 4.4.1 消失点の推定による分類

4.2節の特徴量抽出では、透視図法の影響を考慮していない。そこで、線画の消失点を推定し、各線分がどの消失点に属するか否かをあらかじめ調査して分類する。消失点推定方法には、澤田ら [11] の手法を採用した。

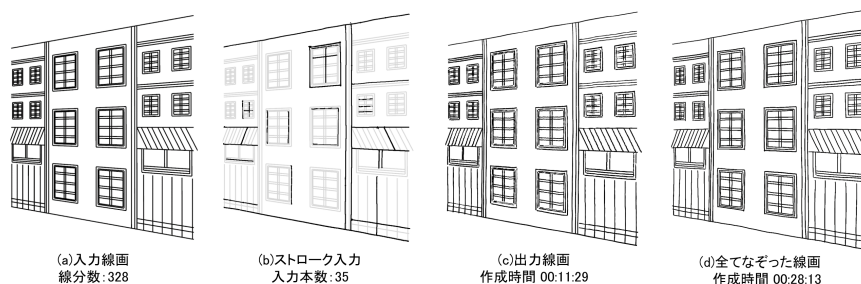


図5 本手法による線画の生成例 (第二著者)

#### 4.4.2 特徴量の閾値計算による分類

同じ消失点に属する線分群に限定したうえで線分特徴量を比較し、類似するサンプルストロークを特定し、同じ文脈で描かれている他の線分を収集する。各線分は、線分に沿った変化する点特徴量である線分特徴量を保持している。ユーザがなぞったストロークをもつ線分群と、線画内の線分群の線分特徴量を比較することで、単なる角度による分類だけでなく、用途の類似した線分を検索することができる。

#### 4.4.3 ランダム性の付与

最終的に同じグループに分類された線分全てに、同じ形状のストロークを適用してしまうと、手描きならではの不規則性が失われる。そこで各ストロークに微少なノイズを加え、線分の特徴を大きく変化させずに、細部が異なるストロークを生成する。

### 5 結果

線分数や構図の異なる4種類の線画を用いて、LinDAの生産性を検証した。図5に、第二著者による線画作成結果の一例(線画1)を示す。図5(a)を対象線画として、図5(b)のように線画の一部を入力すると、図5(c)のような完全な線画が生成される。実際の作業の様子は添付ビデオを参照してほしい。

図5を見ると、ほぼ全ての線分が登録されたストロークをもつ線分群のいずれかに類似すると判断され、一括でそれぞれ登録したストロークに変換されたことが確認できる。もちろんLinDAにおける作画では、線分の傾きだけでなく、線分が使われている周辺状況(線分特徴量)の違いによりグルーピングされるので、シーンの複雑さに応じて傾きの分類数以上の入力本数が必要にはなる。しかしそれでも、図5(c)と図5(d)を比較すると、線画の線分数が328本であるのに対し、LinDAでの

作画では、そのおよそ1/9である35本のストローク入力で図5(c)が作成された。そして作画時間が16分44秒短縮され、全てなぞった場合のおよそ2/5となった。

### 6 評価

前章の事例に加えて、計4種類の線画に対してLinDAを使用し、全ての線分をなぞる場合と比較して、作画時間の削減および身体的・精神的負担の軽減の効果を検証した[4]。さらに作者の描画時の手癖が再現されているか、十分なクオリティをもっているかを評価し、生産性が向上したか否かを考察した。第二著者を含む20代女性3名、20代男性1名が実験に参加し、線画の作成、作画時間の計測と入力ストローク数の計測による定量的評価、そして第二著者を除く実験参加者A~Cはこれらに加えてアンケートによる定性的評価、主観的作業負荷を評価するNASA-TLXのうちRTLX評価[12]を行った。

#### 6.1 実験参加者ごとの線画作成結果

第二著者を除く実験参加者が作成し、作成の時間差が大きかった線画1を背景として手前に実験参加者自身が作画したキャラクタを配置したコマを図6に示す。適用結果から、3.2節で仮定したように、同じ背景線画でも角度の異なる線分で、そのストロークの特徴が異なることを確認した。さらに、手前のキャラクタに表れているストロークの変化の特徴が背景線画のストロークにも見られ、作者ごとにコマ全体に作者の画風が馴染む結果が得られた。

#### 6.2 時間計測による評価

LinDAで作成した場合と全てなぞった場合の時間差を表2に示す。

表2から、全てなぞるよりLinDAを用いて線画作成の方が作画時間が短いことがわかる。線画1と線画2では作画時間が10分以上短縮され、全てなぞった場合



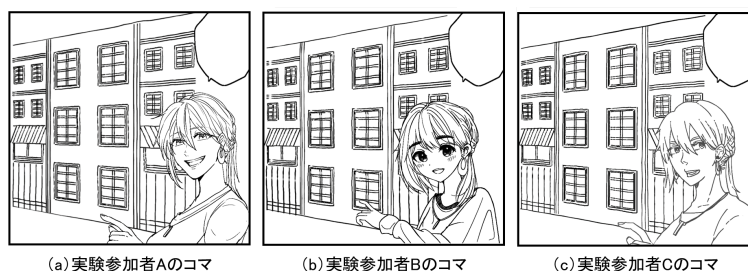


図6 実験参加者ごとの本手法による線画1の生成結果を背景にしたコマの例

表2 LinDAを使用した場合の作画短縮時間

	線画1 (328線)	線画2 (110線)	線画3 (124線)	線画4 (200線)	平均
参加者A	18:26	03:28	02:40	13:08	09:25
参加者B	12:28	02:53	01:01	22:19	09:40
参加者C	31:00	07:50	05:25	13:59	14:33
第二著者	16:44	03:26	03:39	12:23	09:03
平均	19:40	04:24	03:11	15:27	

のおよそ1/2~1/4となった。例えば線分数に約3倍の差がある線画1と線画3でも、入力したストロークの本数の差は2倍未満である。類似した角度や特徴をもつ線分が多く並ぶ部分が多いために構成する線分数が多い線画1や線画2では、入力すべき代表的な線分に対応するストロークの本数は少なくとも、それが適用される線分が多く、本手法のストローク一括変換が効果的に機能し、作画時間の削減に貢献したと考えられる。

### 6.3 アンケート・コメントによる評価

LinDAで作成した線画が、全てなぞった線画と比較して十分なクオリティを有しているか、そしてLinDAというシステムの使用感について質問を用意し、実験参加者A~Cが回答した。なお、ここでのクオリティとは、LinDAで作成した線画を漫画内で使用する場合、全てなぞった線画と代替できる、少しの加工で使用できる、あるいは大幅な加工が必要な線画であるかなどを意味する。なお、質問項目を以下のように設定した。

- (1) 容易に線画が作成できたか？
- (2) UIは理解しやすいか？
- (3) 手癖は再現されているか？
- (4) クオリティに満足したか？
- (5) 線画に違和感を覚えるか？

質問(1)~(4)についての回答結果を図7に示す。計測時間と質問(1)から、時間と作業工数あるいは手間についてLinDAは全てなぞる場合よりも線画作成が容易

かつ短時間であるといえる。質問(2)から、LinDAを使用する手順の理解は容易であり、後述するRTLXの結果からもLinDAの使用による精神的負荷は小さいという結果になった。質問(3)で回答した実験参加者全員が自分の手癖が反映されていると感じ、自由記述コメントでもそれを裏付ける反応が得られた。ゆえに、本手法で提案した線分特徴量が有効に機能している証拠であると考えられる。

しかし、質問(4)において一定の満足感は得られつつも、質問(5)では全員が線画に違和感を覚えると回答した。その原因として、特に長い線分に対し、手癖とは異なる意図しない揺らぎや、まっすぐ描こうとして不要にかかる筆圧などで、作者が望まないストロークも登録される問題が浮き彫りになった。ゆえに、長い線分が描きやすいよう、揺らぎを軽減する手ぶれ補正や、登録したストロークを自由に取捨選択できる機能が必要であると考えられる。

### 6.4 RTLXによる評価

NASA-TLX [12] は主観的作業負荷を評価するために幅広く使用されている評価尺度である。実験参加者は、4種の線画に対し、それぞれLinDAを使用した場合と全てなぞった場合について、NASA-TLXの形式に則って6種類の主観的負荷の評価尺度に記入した。本実験では、日本語訳されたNASA-TLXの尺度 [13] を使用した。そして6種類の評価値から単純平均を算出するRTLXを用いて総合値を求めた。第二著者を除く各実験参加者が各線画をLinDAとCLIP STUDIO Paintでそれぞれ作成した際の総合値の差を表3に示す。

全ての結果で全てなぞった場合よりLinDAで線画した場合の方が、実験参加者が感じる負荷が小さく、線分が多い線画ほどその効果が高い。また、前節での時間による比較においても時間の差が大きい。長時間作業しな

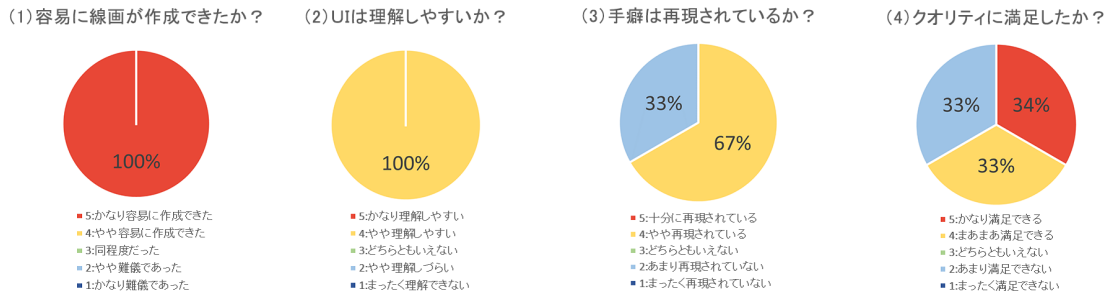


図7 LinDAでの線画作成に関するアンケートの回答結果

表3 LinDAを使用した場合のRLTX総合値の差

	線画1 (328線)	線画2 (110線)	線画3 (124線)	線画4 (200線)	平均
参加者A	31.1	18.1	30.1	28.0	26.8
参加者B	16.7	10.3	1.3	16.3	11.1
参加者C	53.0	40.9	54.3	59.2	51.9
平均	33.6	23.1	28.6	34.5	

くても線画を作成できることが作者の精神的ストレスや身体的負担を軽減させることに繋がり、実験参加者Cはデジタルでの漫画・イラスト作成経験が最も少ないため、その効果が顕著に表れたと考えられる。そして、実験参加者全員がLinDAの方が総合値が低いという結果から、LinDAを使用すると漫画で1コマ作成するのにかかる負担が軽減されると予想できる。

## 7 まとめと今後の課題

本論文では非写実的レンダリングの分野のなかでも、イラストと文字を組み合わせ、多彩な表現力と高い芸術性をもつ漫画の作成支援について、ストロークベースのスタイル転写を採用し、効率的な背景線画生成を目的とした。建造物の線画に対し、角度ごとに線分を分類し、対応したストロークに一括変換することで、手描き風線画を半自動生成する手法を提案した。さらに、提案手法を実装したシステムLinDAを用いて線画とストロークの入力により、作者が手描きしたオブジェクトにより馴染む背景線画を生成した。そして、評価実験を通して、LinDAを使用することで作業時間が短縮され、主観的な負荷が軽減されていることが確認された。さらに、デジタル漫画・イラストを作成する人がLinDAを使用して、自身が描画する際に生じる手癖を反映した線画が生成できるという評価を得た。現時点では対象を建造物に限定しているが、建造物は多くの漫画で描かれており、相当な割合の背景に適用できる。

作者が理想とする手描き感のある線画をより効率的に生成するための課題として、以下のような項目が挙げられる。

### 7.1 ストロークの太さの自由な変更

線画のなかで建造物の輪郭の線分は太く、窓のようなオブジェクトは細く、というように一つの建造物に対して様々な太さのストロークで描画することがある。CLIP STUDIO Paintなどのイラストツールでは、筆圧で太さを調整する場合もあるが、線分単位で太さを変更したい際は、ストロークそのものの太さを変更する。現時点でのLinDAは、ストロークそのものの太さを変更する機能はなく、かつ線分の類似度を幾何学的に判定しているため、描画対象の一貫性を飛び越えて反映されてしまうことがある。この課題を解決するためには、ストロークの任意の太さ変更とストロークの反映範囲を編集する機能が必要である。

### 7.2 ストローク入力機能の拡張

ストロークの自動適用後に、特定の線分を選択したうえで、部分的にストロークを登録し直す機能を追加すると、さらなる作画の効率化が可能と考えられる。そして長い線分や苦手な角度の線分をなぞる際に生じる、反映させたくないストロークの揺らぎや筆圧の変化を軽減するために手ぶれ補正機能を実装することで、作者の望むストロークを入力できると予想される。また、現時点では一筆描きでの入力を想定しているが、複数の短いストロークを繋げて一本のストロークとする描画方法にも対応できると、ストロークの幅広いスタイル化が可能になると考えられる。

### 7.3 LinDAの有用性のさらなる評価

前章ではLinDAで作成した線画とLinDAの使用感について定量的・定性的な評価を実施したが、実験参加

人数が少なく、十分なサンプル数が得られなかったために統計的検定による有用性の検証を行っていない。建造物の線画を手描き風に半自動生成する本手法、および本手法を実装したシステム LinDA が漫画の作成支援に貢献できることを真に検証するためには、サンプルとなる線画を増やして再度評価する必要がある。

#### 7.4 線画クオリティの定量評価

全ての線分をなぞった線画と、LinDAによって生成された線画を比較し、画風の差異を統計的に記述できれば、定量的評価も可能になると考えられる。線画全体としての図形の類似度だけでなく、ストロークの個性という微細ながらも重要な特徴を見落とさない点から、深層学習に基づく類似度判定といった新しいアプローチも奏功する可能性が高い。

#### 7.5 曲線ストロークへの拡張

本手法で提案した「線分特徴量」は、従来の“特徴点”という0次元の概念を、“点の連なった曲線分”という1次元へ拡張したものである。具体的には、任意のパラメトリック曲線上を等間隔にサンプリングし、各点における点特徴量を集約して、曲線分全体の特徴量とする。この特徴量は、曲線分全体に渡る、近傍の他の曲線分との交差状況を反映しており、類似した状況の曲線分を同定する目的で利用可能である。ゆえに曲線分への対応は不可能ではないといえる。

#### 謝辞

各実験に協力してくださった方々に深謝する。本論文の一部は、科研費基盤研究(A)17H00737, 21H04916の支援により実施された。

#### 参考文献

[1] L. A. Gatys, A. S. Ecker, and M. Bethge. Image Style Transfer Using Convolutional Neural Networks. In *Proceedings of the IEEE CVPR*, pp. 2414–2423, 2016.

[2] 野村芽久美, 中山雅紀, 藤代一成. LinDA: 漫画背景画像の半自動生成に向けた線分特徴量抽出. *情報処理学会第81回全国大会講演論文集*, Vol. 4, pp. 163–164, 2019.

[3] 野村芽久美, 中山雅紀, 藤代一成. LinDA: 都市景観の背景線画半自動生成システム—線分特徴量に基

づく一括ストロークテクスチャ変換—. *画像関連学会連合会第6回秋季大会*, 2019.

- [4] 野村芽久美. LinDA: 漫画向けの建造物の背景線画半自動生成. *慶應義塾大学大学院理工学研究科修士論文*, 2021.
- [5] E. Simo-Serra, S. Iizuka, and H. Ishikawa. Real-Time Data-Driven Interactive Rough Sketch Inking. *ACM ToG*, Vol. 37, No. 4, Article No. 98, 2018.
- [6] J. Fišer, P. Asenta, and D. Šýkora. Shipshape: A Drawing Beautification Assistant. In *Proceedings of the Workshop on Sketch-Based Interfaces and Modeling*, pp. 49–57, 2015.
- [7] J. Xing, H. Chen, and L. Wei. Autocomplete Painting Repetitions. *ACM ToG*, Vol. 33, No. 6, Article No. 172, 2014.
- [8] J. Lu, F. Yu, A. Finkelstein, and S. DiVerdi. HelpingHand: Example-Based Stroke Stylization. *ACM ToG*, Vol. 31, No. 4, Article No. 46, 2012.
- [9] L. Yang, T. Xu, J. Du, and E. Wu. Easy Drawing: Generation of Artistic Chinese Flower Painting by Stroke-Based Stylization. *IEEE Access*, Vol. 7, pp. 35449–35456, 2019.
- [10] 加藤毅. 画像解析のための複素数離散ウェーブレット変換の設計と応用に関する研究. 博士論文, 豊橋技術科学大学, 2015.
- [11] 澤田友哉, 後藤悠汰, 豊浦正広, 茅暁陽, 行場次朗. リーディングラインを考慮した顕著性マップの作成. *電子情報通信学会論文誌 A*, Vol. J98-A, No. 6, pp. 446–449, 2015.
- [12] S. G. Hart. Nasa-Task Load Index (nasa-tlx); 20 Years Later. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, Vol. 50, pp. 904–908, 2006.
- [13] 芳賀繁, 水上直樹. 日本語版 NASA-TLX によるメンタルワークロード測定—各種室内実験課題の困難度に対するワークロード得点の感度—. *人間工学*, Vol. 32, No. 2, pp. 71–79, 1996.



中山 雅紀



2002 年慶應義塾大学工学部卒業。2004 年慶應義塾大学大学院理工学研究科修士課程修了。修士（工学）。2010 年同大学院博士課程単位取得退学。現在情報工学科藤代研究室研究員兼日蓮宗玉泉山安国院住職。フォトリアルレンダリング，球面幾何に基づくモデリングや情報処理，球面ディスプレイ，ステレオグラム，3D 人体計測，等の研究開発に従事。情報処理学会，画像電子学会，他会員。

野村 芽久美



2019 年 3 月慶應義塾大学工学部情報工学科卒業。2021 年 3 月同大学院理工学研究科開放環境科学専攻修士課程修了。修士（工学）。在学中は非写實的レンダリングの研究に従事。現在，日本放送協会に勤務。

藤代 一成



東京大学，筑波大学，お茶の水女子大学，東北大学を経て，2009 年より慶應義塾大学工学部情報工学科教授。1988 年理学博士（東京大学）。CG・可視化や知的環境メディアに関する研究に従事。第 16 回 CG Japan Award 受賞。本会では副会長，評議員等を歴任。日本工学会，情報処理学会フェロー，画像電子学会名誉会員，IEEE，ACM シニア会員。現在，日本学術会議連携会員，可視化情報学会会長。