

2023年度 卒業論文

人のような描き方ができる頭部の
線画生成の研究

2024年3月

指導教員

藤江真也 教授

千葉工業大学 先進工学部
未来ロボティクス学科

森田大雅

目次

第1章	序論	1
1.1	背景	1
1.2	本研究の目的	1
1.3	本論文の構成	2
第2章	関連研究	3
2.1	描画ロボットに関する研究	3
2.2	エッジ抽出に関する研究	3
第3章	システム構成	4
3.1	ハードウェア	4
3.2	ロボットの機構	4
3.3	手先の位置と回転角の関係	4
3.4	画像処理	6
第4章	提案手法	8
4.1	描き順の分析	8
4.2	領域と端点を用いた経路の求め方	8
4.2.1	スタート地点の決め方	8
4.2.2	端点の検出と線の辿り方	9
第5章	実験	10
5.1	概要	10
5.2	比較手法	10

5.2.1	ラスタスキャン	10
5.2.2	領域と端点を用いた方法	10
第 6 章 結論		11
謝辞		12

図 目 次

3.1 エッジ抽出	6
4.1 領域の位置の確認	9

表 目 次

第1章 序論

1.1 背景

従来の描画ロボットの研究では描かれた絵が、どのくらい上手く描けているかに着目している研究が多い。例えばシンプルにエッジ抽出から人物画を描く文献 [1] や、エッジ抽出とハッチングから芸術的な人物画を鉛筆で描く文献 [2]、リモートユーザがタブレットを介してロボットに描かせる文献 [3] などが存在する。これらの研究ではたしかに模写や芸術的な表現が可能になっている。また現代ではデジタルで絵を描いたり、AI が絵を生成するようになっている。絵の場合、アナログの複製はほとんど意味をなさない。たとえ見た目が同じに見えても、絵の具を使った量や、混ぜた色の比率、筆のタッチの刻み方を完全に再現することは不可能であるからだ。それだけ、優れた絵描きの絵のオリジナリティは強く評価される。また時間と労力は有限であるため、作品数は限られるため希少価値は高くなる。ヒトの頭部は表情が存在するため絵に様々な意味を連想させたり、静止した一場面にストーリーをもたせたり、背景などの他の要素をより際立たせる。静止しているにも関わらず、ストーリーをもつ点では映像とはまた別の独特な魅力を持っている。これは絵画以外に漫画などにも当てはまることで、頭部を描く重要性は高い。

1.2 本研究の目的

従来の描画ロボットの研究を調査した結果、人のような描き方を追求したものが少ないと感じた。そこで本研究では、ある画家が描いた頭部作品の画像から描き順ができるだけ人に近い描き方をする描画ロボットを作成を行う。現代にお

いて鉛筆デッサンをする場合、線画を描く、つまり輪郭をはっきり描く方法は一般的ではない。これは古典的なデッサンの方法で昔の巨匠、例えばミケランジェロやダビンチなどが輪郭を描いている。しかし全く行われないうわけでもなく、画家によっては輪郭を描く。また、輪郭を描くことで何かしら特別な意味を込めた場合などに描く場合もある。

1.3 本論文の構成

第2章 関連研究

描画ロボットに関する研究と、線画を求めるためにエッジをできるだけ残せるようにする必要がある。

2.1 描画ロボットに関する研究

文献 [1] では、6 軸のマニピュレータロボットを用いて、シンプルにエッジ抽出から人物画を描く研究を行っている。また文献 [2] では、Canny やラブラシアンなど様々なエッジ抽出と細線化、そして影の部分などをハッチングで表現できるように、芸術的な人物画を鉛筆で描く研究を行っている。またリモートユーザがタブレットを介してロボットに描かせる文献 [3] などが存在する。

2.2 エッジ抽出に関する研究

用途にもよるがエッジ抽出において、Canny のエッジ検出アルゴリズムが最もよく用いられる。エッジ抽出を行うとき、しきい値を高くするとノイズは少なくなるが、エッジが見えなくなってしまう。逆にしきい値を低くするとエッジは残るが、ノイズがはっきりと現れてしまう。これらのトレードオフ関係に取り組んだ論文が文献 [4] である。この文献は画像を領域ごとに仕切り分けを行い、その領域ごとにエッジがあるのか、ノイズがあるのか、両方あるのかを判定し、領域ごとにしきい値の値を決め、トレードオフ関係に対処しようとしている。結果的に改良に用いた Canny のエッジ検出アルゴリズムより若干向上したことを示している。

第3章 システム構成

3.1 ハードウェア

ロボットの機体は Adept の ADA031 を用いている．Arduino で動作するため、画像処理の難易度が高い．そこでメインボードを Raspberry Pi に代え、それとロボットアームの各 servo モータを接続するためにブレッドボードやジャンパー線、抵抗を用いて改良を行った．

3.2 ロボットの機構

本研究で用いるロボットは 3 軸のマニピュレータロボットである．servo1 を原点とし、各 servo の回転角度を $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ 、各リンクの長さを l_1, l_2, l_3, l_4 とする．

3.3 手先の位置と回転角の関係

リンク座標系に定義した各パラメータと、順運動学と逆運動学を用いて手先の位置から回転角を求める．また DH(Denavit-Hartenberg) 記法を用いて、各リンクの関係を示す．このリンク座標系をもとに、座標系 1 から 3 への座標変換行列を求めると以下ようになる．

$${}^0T_3 = {}^0T_1 T_1^1 T_2^2 T_3^3 = \begin{pmatrix} C_1 C_{23} & -C_1 S_{23} & 0 & l_2 C_1 S_2 \\ S_1 C_{23} & -S_1 S_{23} & 0 & l_2 S_1 S_2 \\ -S_{23} & -C_{23} & -1 & l_2 C_2 + l_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3.1)$$

ただし、

$$\begin{pmatrix} C_{23} = \cos\theta_2\cos\theta_3 - \sin\theta_2\sin\theta_3 \\ S_{23} = \sin\theta_2\cos\theta_3 + \cos\theta_2\sin\theta_3 \end{pmatrix}$$

また、手先ベクトルが以下のように求まる.

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & l_4 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -l_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & l_4 \\ 0 & 1 & 0 & -l_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3.2)$$

式 (3.1) と (3.2) より手先までの座標変換行列 0P_r が以下のように求まる.

$${}^0P_r = {}^0T_3 \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & l_4 \\ 0 & 1 & 0 & -l_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{R} & \mathbf{t} \\ \mathbf{0} & 1 \end{pmatrix}$$

ただし、回転行列 \mathbf{R} と並進ベクトル \mathbf{t} は以下の結果になる.

$$\begin{aligned} \mathbf{R} &= \begin{pmatrix} C_1C_{23} & -C_1S_{23} & 0 \\ S_1C_{23} & -S_1S_{23} & 0 \\ -S_{23} & -C_{23} & -1 \end{pmatrix} \\ \mathbf{t} &= \begin{pmatrix} l_4C_1C_{23} + l_3C_1S_{23} + l_2C_1S_2 \\ l_4S_1C_{23} + l_3S_1S_{23} + l_2S_1S_2 \\ -l_4S_{23} + l_3C_{23} + l_2C_2 + l_1 \end{pmatrix} \\ \mathbf{0} &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

座標変換行列の並進ベクトル \mathbf{t} が順運動学解なので、手先の位置 x, y, z が以下のように求まる.

$$\begin{aligned} x &= C_1(l_4C_{23} + l_3S_{23} + l_2S_2) \\ y &= S_1(l_4C_{23} + l_3S_{23} + l_2S_2) \\ z - l_1 &= -l_4S_{23} + l_3C_{23} + l_2C_2 \end{aligned} \quad (3.3)$$

式 (3.3) より逆運動学解 $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ は以下のように求まる.

$$\begin{aligned}\theta_1 &= \frac{1}{2} \cos^{-1} \left(\frac{x^2 - y^2}{x^2 + y^2} \right) \\ \theta_2 &= \cos^{-1} \left(\frac{x^2 + y^2 + (z - l_1)^2 + l_2^2 - l_3^2 - l_4^2}{2l_2 \sqrt{x^2 + y^2 + (z - l_1)^2}} \right) + \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{z - l_1} \right) \\ \theta_3 &= \cos^{-1} \left(\frac{x^2 + y^2 + (z - l_1)^2 - l_4^2 - l_3^2 - l_2^2}{2l_2 \sqrt{l_3^2 + l_4^2}} \right) + \tan^{-1} \left(\frac{-l_4}{l_3} \right)\end{aligned} \quad (3.4)$$

3.4 画像処理

描く対象の絵は、ウィリアム・ブーグローという画家の”若い女の横顔“という作品の画像を用いる. 理由は背景が白でシンプルであるため、画像の読み込む際にノイズが少なく綺麗にエッジ抽出を行えるを考えたからである. この画像からエッジ抽出を行い、線画を生成する. エッジ抽出には OpenCV の Canny のエッジ検出アルゴリズムとガウシアンラプラシアンに細線化を行ったものの2つを比較し、Canny を使うことに決めた. 以下のそれぞれのエッジ抽出の結果を示す.

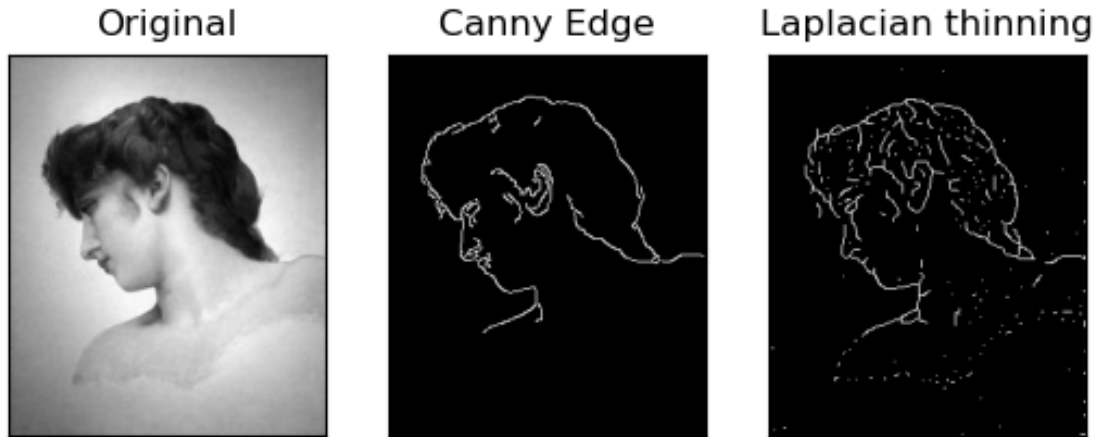


図 3.1: エッジ抽出

図の 3.1 からラプラシアンフィルタより、Canny の方ががノイズが少なく綺麗に

エッジ抽出できていることが分かる。そのため、Canny でエッジ抽出を行った結果を線画とする。この出力画像をもとに線の経路を求めていく。

第4章 提案手法

エッジ抽出を行った画像から線の経路を求める。できるだけヒトが描いたような描き順になるようにするために、まず実際にこの絵を自分が描いたときの描き順を調べた。右利きと仮定すると、左側から描き始めることが多かった。そのため、本研究ではスタートを頭部の輪郭の左側から描けるようにした。そのためにある領域を端点を用意する。

4.1 描き順の分析

私は顔の輪郭から始まり首や目、鼻などの細部へと移って描いていく。これは全体から細部へと移ることで、パーツの位置を決めやすい体と考えられる。また右利きの場合、スタートは左側から描いていた。理由は右利きの場合、ペンを右に傾けて持つため時計周りに円を描くほうが描きやすいからだと考えられる。半時計周りの場合、6時から12時までの区間を描くには手を少し持ち上げて描く必要があるため、寝かせたまま描ける時計周りより不安定になる。

4.2 領域と端点を用いた経路の求め方

4.2.1 スタート地点の決め方

スタート位置を決めるためにある大きさの領域を用意した。領域は左上の位置が横全体の $\frac{1}{8}$ 、縦全体の $\frac{1}{3}$ 、サイズが全体の $\frac{1}{4}$ になるように設定した。このように領域の位置とサイズを定義することで、頭部の左側に領域が被るように設定することができた。領域が頭部の左側にあるかを2つの画像で確かめた。図4.1の左が”金髪女の横顔”、右が”若い女の横顔”という作品である。以下にその例を示す。

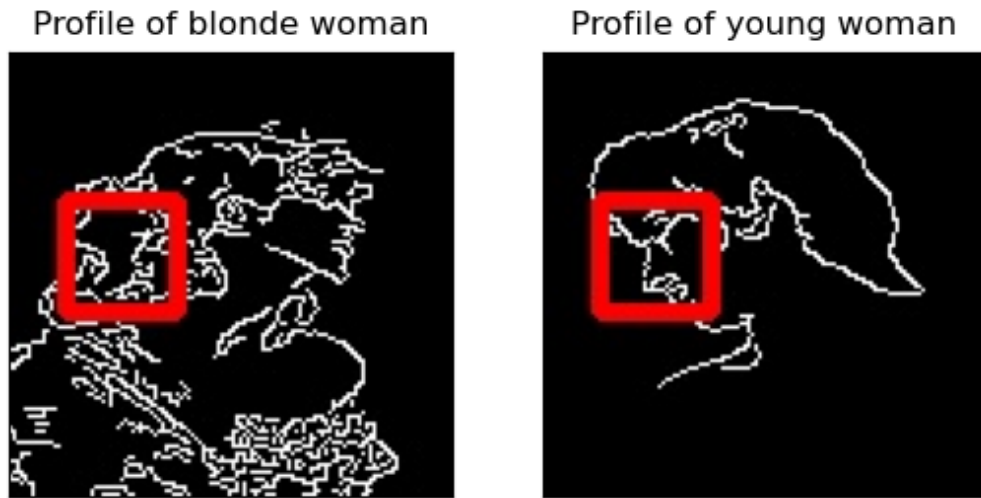


図 4.1: 領域の位置の確認

この領域を縦方向にスキャンし、最初にエッジの画素にぶつかった位置をスタート地点に決める。

4.2.2 端点の検出と線の辿り方

図 4.1 ではエッジが綺麗に繋がっているように見えるが、拡大すると途切れている。そのため、ロボットにそのままエッジの画素をそのまま座標として与えると実際の線画が点線になってしまう。そこで端点を用いる。線の画素を辿り、端点まで来たら次に近くの端点へ移動して描いていく。この処理を行うことで実際には点線を描くことになるが、擬似的に線を描いていくような動作ができる。線の辿り方はある線の画素から隣に線の画素があるかを探し、線の画素があれば移動し、なければ最も近いまだ通過していない端点へと移動する。これを線の画素がなくなるまで繰り返す。

第5章 実験

5.1 概要

経路の求めるためにラスタスキャンと領域、端点を用いた方法のどちらが人のような描き方に近いかを比較し、どちらの描き順が人が描いたように見えるのかアンケートを oo 人にとった.

5.2 比較手法

比較には以下に示す

5.2.1 ラスタスキャン

5.2.2 領域と端点を用いた方法

第6章 結論

謝辭

参考文献

- [1] M. Pichkalev, R. Lavrenov, R. Safin and K. -H. Hsia, "Face Drawing by KUKA 6 Axis Robot Manipulator," 2019 12th International Conference on Developments in eSystems Engineering (DeSE), Kazan, Russia, 2019, pp. 709-714, doi: 10.1109/DeSE.2019.00132.
- [2] Felix Fisgus, Joris Wegner: "Pankraz Piktograph".
- [3] Shubham Agarwal, Sarvesh S. S. Rawat, V Sumathi: "A drawing robotic hand based on inverse kinematics", International Conference on Information Communication and Embedded Systems (ICICES2014), Chennai, India, 2014, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICICES.2014.7034005.
- [4] D. Dhillon and R. Chouhan, "Enhanced Edge Detection Using SR-Guided Threshold Maneuvering and Window Mapping: Handling Broken Edges and Noisy Structures in Canny Edges," in IEEE Access, vol. 10, pp. 11191-11205, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3145428.