

## 結節点データを用いた深層学習を伴う 3次元モデルの線画レンダリング手法

内田光洋 齋藤豪

東京工業大学 情報理工学院

### 1 はじめに

手描き線画の特徴はアーティストにより暗黙的に決定されるため、定式化することが極めて難しい。Uchida ら [1] は畳み込みニューラルネットワーク (CNN) を用いることでデータに基づき手描きのような線の位置と強弱を決定する3次元形状の線画生成手法を提案した。しかし、この手法では結節点で線を接続する際に、手描きらしい特徴が考慮されていないため、不自然な結果を生成してしまう場合がある。本論文ではこの手法を拡張し、手描きのような結節点での線分接続を行う線画レンダリング手法を提案する。

### 2 関連研究

結節点での接続関係決定はいくつかの線画ベクトライズ手法において考慮されている。Bessmeltsev らの手法 [2] および Stanko らの手法 [3] は局所的な線の方角により線の接続を決定するが、3次元モデルに発生することのある3本以上の線からなる結節点に対応していない。また、Favreau らの手法 [4] は大域的な最適化により線と結節点を構築するが、それらの位置が元の画像から離れてしまうことがある。これらの手法に対し、Guo らの手法 [5] は上記の問題が存在せず、用いられている CNN (TRNet) の構造を変更することで接続関係決定に3次元形状の情報を併用することも可能であるため本研究ではこれを応用する。

### 3 データセット

Guo らの提案した TRNet[5] に対して、本研究では入力に法線と深度のチャンネルを追加した。これは、3次元形状の特徴が線の接続決定の際に考慮される要因となるためである。この TRNet を学習するためには結節点周辺で実際の3次元モデルの形状とその線画のような特徴を持つ学習データセットを用意する必要がある。本研究では、ランダムなパラメータにより形状を決定する2つの楕円球と2つの直方体の内任意の2つから成るシーンを設定し、それらの法線、深度、およびエッジの情報から TRNet の学習データ画像を生成する。直方体と楕円球を用いる理由は、多様な3次元形状と線の形状を持つデータに対して3次元形状やエッジやの情報を解析的に求めることができるためである。さらに、より多様な形状のデータを獲得するために、データの75%は上記のシーンに非線形画像

変形を施したものとする。ただし、変形の際は法線画像の値は適切に変更を行う。図1(a)(b)(c)はデータ作成のために生成したシーン一例であり、(d)(e)はそこから作り出された TRNet の学習用データである。図1(d)(e)のように線分画像とストローク画像のは結節点から線分の角度に従いソートされている。

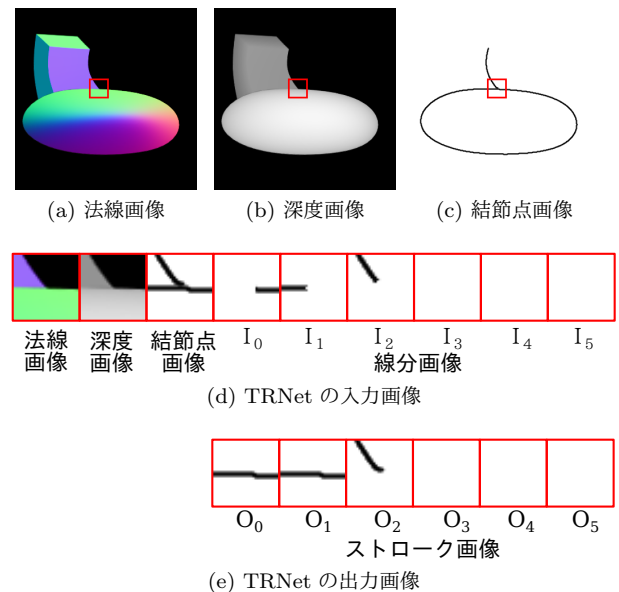


図 1: TRNet 用のデータ作成

### 4 線画レンダリング

Uchida らの手法 [1] の3次元モデルからの線強度を含む線属性の抽出までの過程を適用することで、3次元モデルの法線・深度画像から強度情報を持つ点から成るポリラインを検出し、そのポリラインを結節点で適切に接続し直した後に、Uchida らの手法の残りの様式制御過程を適用することで出力の線画を得る。線画レンダリングのフローを図2に示す。

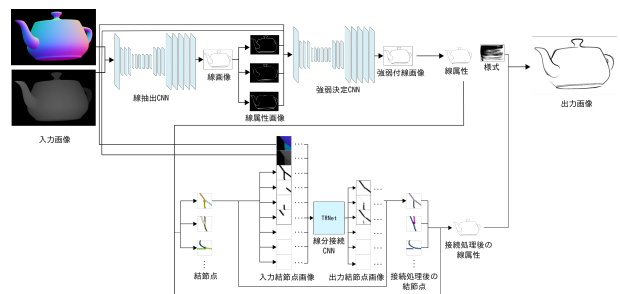


図 2: 線画生成

Line drawing rendering of 3D shapes with deep learning using junction data

Mitsuhiro UCHIDA

Suguru SAITO

School of Computing, Tokyo Institute of Technology

#### 4.1 結節点の検出

検出されたポリラインの集合  $L$  の任意の 2 本のポリライン  $l_i, l_j \in L$  に対し、 $l_i$  の端点から 1.5px 以内に  $l_j$  の点が存在する場合、 $l_i$  と最も近い  $l_j$  上の点で  $l_j$  を分割する。その後、ポリラインの端点 3 つ以上がそれぞれ 1.5px 以下の距離にある場合、それらの端点の平均の座標を結節点として検出する。

#### 4.2 結節点ごとの接続関係の決定

結節点ごとに図 1(d) のような TRNet の入力画像を生成し、TRNet によりストローク画像を生成する。

TRNet は図 1(d)(e) のようなデータで学習されるため、TRNet の出力のストローク画像は以下のような特徴を持つことが期待される。

- 結節点を越えて接続する 2 つの線分に対応する出力チャンネルの画像は類似する。
- 接続相手の無い線分に対応する出力チャンネルの画像は対応する入力チャンネルの画像と類似する。

したがって、線の接続決定のために以下の式で線分同士の距離関数  $d(i, j)$  を定義する。ここで、 $i, j$  は結節点の線分に対応する入出力チャンネル、 $I_i$  は  $i$  に対応するチャンネルの入力線分画像、 $O_i$  は  $i$  に対応するチャンネルの出力ストローク画像である。

$$d(i, j) = \begin{cases} \|O_i - O_j\|_2 & (i \neq j) \\ b\|O_i - I_i\|_2 & (i = j) \end{cases}$$

実装では  $b = 5$  とした。チャンネル  $i, j$  のうち  $d(i, j)$  が最小となる対を順に選ぶ。ただし、すでに選ばれたチャンネルは選ばれない。このようにして選ばれた対の内  $i \neq j$  である  $i, j$  に対応する 2 つの線分は接続される線分対として決定される。すべての結節点で接続決定をした後に接続が決定された線分に対応するポリラインを接続する。

#### 5 実験結果と評価

TRNet を用いた提案手法で決定した接続関係と Uchida らの手法 [1] で決定した接続関係の正解率を比較する。TRNet の学習には 3 節で用意した結節点 108000 箇所のデータを使い、バッチサイズ 64 で 30 エポック行った。また、正解データとして実際の 3 次元モデルから検出した結節点での接続関係の正解を手動で付与した 1166 データを用意した。これらの結節点に対して提案手法および Uchida らの手法が正しい接続関係を決定した結節点の割合を表 1 に示す。この結果より、提案手法における追加の機構が線分接続の精度を向上させていることが分かる。

表 1: 接続関係決定の正解率

Uchida ら [1]	0.5409
提案手法	0.7101

提案手法によって生成された線画と Uchida らの手法で生成した線画の比較を図 3 に示す。図中の赤枠は提案手法によって接続関係が改善された結節点を示す。

これらの結節点では手前側にある部分のエッジが接続されており、結節点を正しく接続することで対象の 3 次元的な形状の情報を適切に表現できていることがわかる。

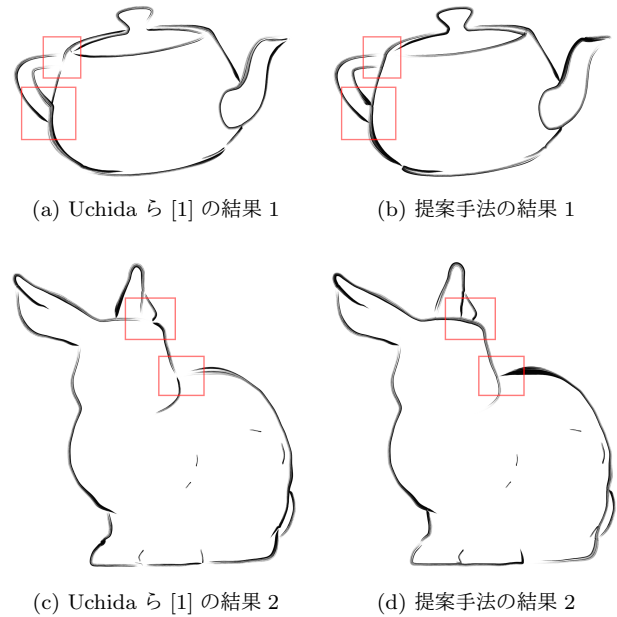


図 3: 線画の生成結果

#### 6 まとめ

本論文では、3 次元モデルの手描き線画生成に対して、結節点での線分接続機構を用いる手法およびその手法に用いる深層学習のための結節点データセットの生成方法を提案した。自動生成データセットを用いて学習した TRNet による機構が結節点の線分接続決定の精度を向上していることを示し、それが手描き線画生成の結果に貢献することを結果より示した。

今後の課題としては、より多様な線接続の許容が考えられる。例えば、本研究では複数の線分が同じ線分に接続することはないが、実際の線画ではストロークが重なる場所では 2 本以上の線が 1 本にまとまる場合がある。このような線の接続に対応することで手描きの特徴を再現するためのさらなる表現が可能になると期待される。

#### 参考文献

- [1] Mitsuhiro Uchida and Suguru Saito. Stylized line-drawing of 3d models using cnn with line property encoding. *Computers & Graphics*, Vol. 91, pp. 252 – 264, 2020.
- [2] Mikhail Bessmeltsev and Justin Solomon. Vectorization of line drawings via polyvector fields. *ACM Trans. Graph.*, Vol. 38, No. 1, pp. 9:1–9:12, January 2019.
- [3] Tibor Stanko, Mikhail Bessmeltsev, David Bommes, and Adrien Bousseau. Integer-grid sketch simplification and vectorization. *Computer Graphics Forum (Proceedings of the Eurographics Symposium on Geometry Processing)*, Vol. 39, No. 5, pp. 149–161, jul 2020.
- [4] Jean-Dominique Favreau, Florent Lafarge, and Adrien Bousseau. Fidelity vs. simplicity: a global approach to line drawing vectorization. *ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH Conference Proceedings)*, 2016.
- [5] Yi Guo, Zhuming Zhang, Chu Han, Wenbo Hu, Chengze Li, and Tien-Tsin Wong. Deep line drawing vectorization via line subdivision and topology reconstruction. *Computer Graphics Forum*, Vol. 38, No. 7, pp. 81–90, 2019.