

## 被写体の対称性を利用したスケッチ形状の補正手法

### Sketch Shape Perspectively Correction Based-on Symmetric Structure

董 思齐<sup>†</sup>  
Siqi Dong

宍戸 英彦<sup>‡</sup>  
Hidehiko Shishido

北原 格<sup>\*</sup>  
Itaru Kitahara

#### 1. はじめに

二次元画像から三次元情報を推定する研究が活発に行われている[1][2]. その一形態である手描きのデザインスケッチに基づく三次元再構成は, その便利さと直感的な特性のために注目を集めており, スケッチを三次元モデルに変換するインターフェイスがいくつか提案されている[3][4]. しかし, 多くのデザイナーは紙とペンまたは絵描ツールでスケッチを作画するため, 描かれたスケッチは必ずしも透視投影に従わず, 被写体が変形していることがある. そのような変形は三次元モデル変換の精度低下の要因となるため, 前処理として, 被写体形状を透視投影に従うよう補正する必要がある.

本稿では, 建物や家具など対称的な物が多い工業デザインに着目し, 図 1 に示す二点透視法(遠近法)で描かれた手描きスケッチ画像データ(ビットマップ画像)を対象とした手法について述べる. 被写体は, 対称構造を有する, つまり対称線が存在するオブジェクトを想定する. なお, ラフスケッチを清書する研究は既に存在するため[5], 本研究で扱うスケッチは清書処理後の画像であり, ラフスケッチに含まれるノイズは考慮しない.

被写体の対称構造から画像を撮影したカメラの透視投影変換を推定することができる. この透視投影に従うと, 対称線上のある点  $a$  と消失点  $v$  を通る直線がもう一方の対称線と点  $b$  で交わる時, 点  $a$  と点  $b$  は対称関係にある. 一方図 2 に示すように, 対称線上の点  $a$  と消失点  $v$  を通る直線が他方の対称線と点  $b'$  ( $b' \neq b$ ) で交わる時, その対称線は透視投影に従っていない(変形している)と言える. 本研究では, そのような対称な直線について, 点  $b$  を点  $b'$  に移動させる画像変換を施すことで透視投影に従う画像を生成する.

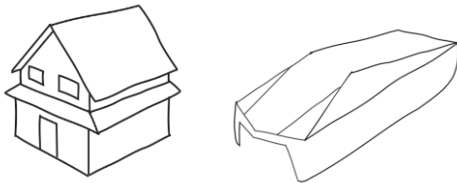


図 1 二点透視図法に基づく対称物のスケッチ

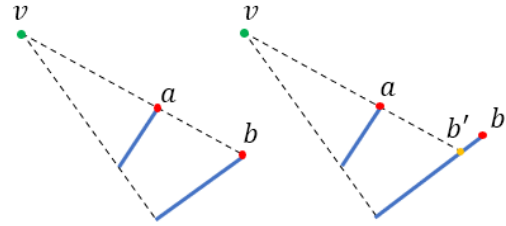


図 2 透視関係が正確な対称線(左)と変形している対称線(右)

#### 2. 関連研究

##### 2.1. 被写体の対称性を用いた単一画像による三次元復元手法

従来研究では, 単一画像から三次元復元を行うために, 被写体の対称構造は有用であると示されている. François ら[6]は, 対称構造を有する被写体の画像は透視投影に従うのであれば, その鏡像画像は, 別方向から撮影した画像と等価であることを示した. また, Hong ら[7]は画像中に対称関係を有する対応点を検出できれば, 三次元形状を復元することが可能であることを示した. ただし, ペアとなる対応点の位置は, 正確な透視投影に従うことが前提である.

#### 3. 被写体の対称性を利用したスケッチ形状の補正手法

被写体が左右対称構造を有していれば, 透視投影に基づいて描画されたスケッチには左右対称性を持つ線が存在する. それらの対称線の端点を通過する直線は消失点で交わる. 本稿では, この性質に基づき, スケッチ画像から検出した消失点と線の対称性を利用し, 各線分の位置を透視投影に従うように補正する手法を提案する.

処理手順を図 3 に示す. スケッチ画像を細線化処理し, 特徴点(交点とコーナ)を検出し, その点で線画を分割することで線分群を獲得し, さらに連続性のある線分を統合して独立線を得る. 立方体から検出した 9 本の直線から, 同じ方向を有する 3 本の線を選択し, それの交点としてスケッチ画像の二つの消失点を求める. 画像中の対称線ペアに対して, 二つの消失点情報を用いて, 対称線上の点を透視投影に従う位置に移動させる. 移動後の点に対して直線フィッティングを適用し補正結果を得る.

<sup>†</sup> 筑波大学 知能機能システム学位プログラム The Master's and Doctoral Programs in Intelligent and Mechanical Interaction Systems, University of Tsukuba

<sup>‡</sup> 筑波大学 計算科学研究センター Center for Computational Sciences, University of Tsukuba

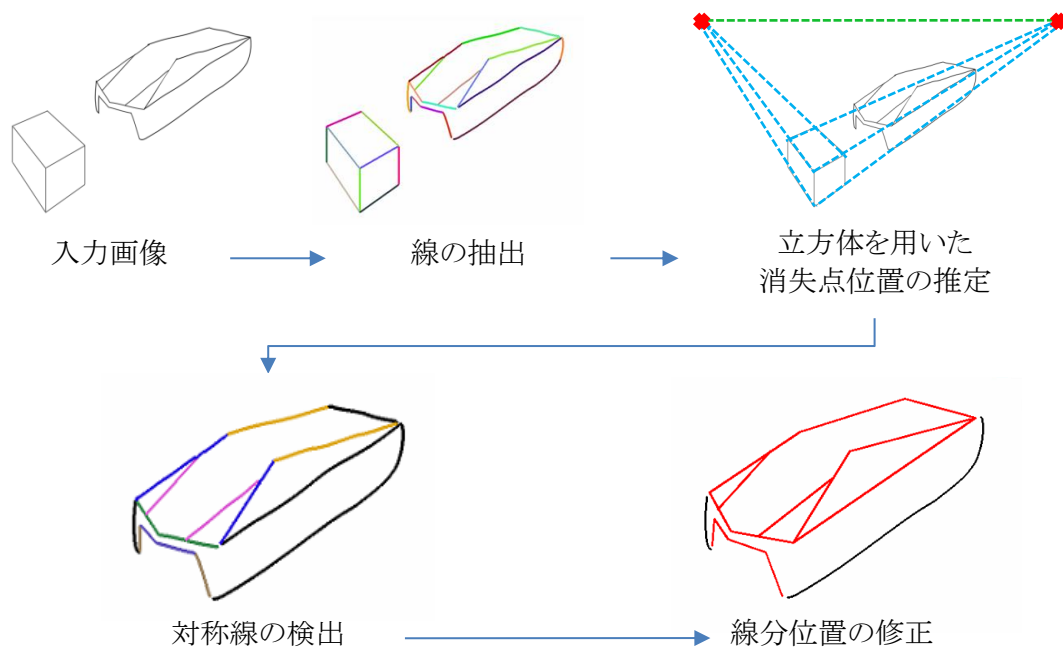


図 3 提案手法

## 4. システム構成

### 4.1. 独立線の検出

入力画像はビットマップ形式であり、すべての線画が連結されているとする。まず、各線画を独立線として分離する。具体的には、特徴点を検出し、そこで線画を分割する。本手法では2種類の特徴点を想定する。一つ目は二本以上の線が交わる点(交点)である。二つ目は線の曲率の大きいコーナーである。特徴点での線画の分割の結果、同一線にもかかわらず切断されてしまう場合があるため、図4に示すように、分割した線分同士の連続性を考慮し、連続性を有する線分は統合する。各線分は画素集合とみなせるため、隣接する2本の線を多項式フィッティングにより結合する。直線の場合は、一次関数でフィッティングし、当てはめ誤差が閾値以内であれば線を統合する。曲線の場合、線を一定角度毎に回転させながらフィッティングし、当てはめ誤差が最も小さくなった角度(角度には上限を設定する)を採用して線分を合併する。

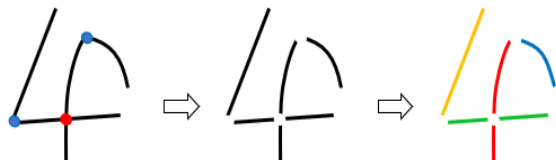


図 4 交点(赤い点)とコーナー(青い点)の検出および連続性のある線の統合

### 4.2. 消失点の検出

透視投影に従わない被写体の像から消失点の位置を正確に求めることは困難であるため、本手法では、図5に示すスケッチ時にユーザが透視投影に基づいて描いた立方体像から二つの消失点を求める。スケッチ時に描画対象物体とは別に透視投影に従って立方体を描き、その立方体の直線を延長し消失点座標を算出する。立方体から検出した9本の直線の内、左右方向の6本を選択し、左右各々3本の直線が収束する点を消失点とする。

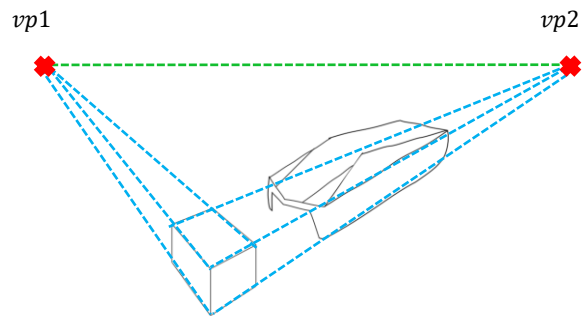


図 5 消失点の検出

### 4.3. 線分位置の修正

本研究で対象とする建物などのスケッチでは、描かれる線は直線が大多数であること、また対称な曲線の上で端点以外の対応点の位置を正確に求めることは困難であることから、ここでは直線を修正する方法について述べる。

対称線の端点同士は対称点となる。図6に示すように、消失点を通して対称点との距離が最小となる直線（補助線）を算出し、各端点から補助線におろした垂線との交点を修正後の端点位置とする。

端点の移動に伴い修正が必要な線は、図7に示す三種類が存在する。一つ目は対称線（青線）であり、修正後の端点を連結して修正後の線を求める ( $a'c' \rightarrow ac, a'b' \rightarrow ab$ )。二つ目は線の両端点が対称である線（緑線）であり、修正後の対称点を繋ぐことで修正後の線を求める ( $a'b' \rightarrow ab$ )。もう一つは少なくとも一つの端点を特徴点とする直線（赤線）である。この場合は修正した一つの端点ともう一つの元の端点を繋げ修正後の線とする ( $b'e' \rightarrow be'$ )。

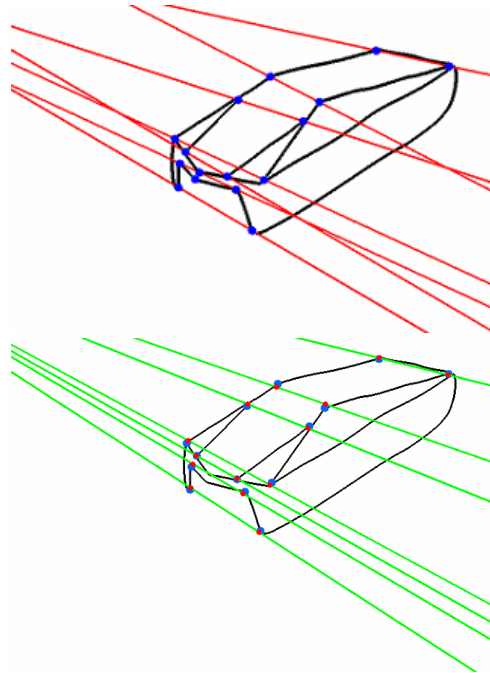


図6 対称点の修正. 青い点：修正前の点 赤い点：修正後の点 赤線：修正前の対称点を通過する直線 緑線：修正後に消失点に収束する補助線

### 5. 実装と考察

図8に、本提案手法によって、対称性を利用して各対称関係を持つ線分を透視投影に従う位置に修正した結果を示す。直線フィッティング処理により、部分的に揺らぎのある手描き線分を直線に修正することも可能である。ただし、現在は、対称な直線に対して個別に修正を行っているため、本来繋がっていた線が分断されることがある。この問題は、点と線の従属関係を確立することで解決すると考えられる。また、現在は直線のみを修正しているため、今後は透視変換を用いて曲線も修正すると考えられる。

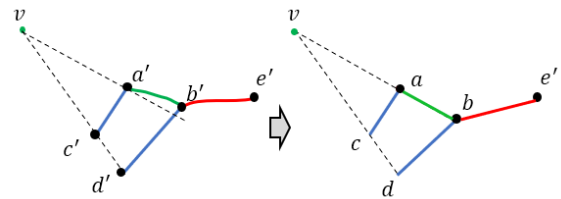


図7 三種類の修正すべき線

入力画像	出力画像	オーバーラップ

図8 結果（入力画像の立方体は省略）。黒線：元画像の線、赤線：修正後の対称線、青線：修正後の対称線以外の直線

## 6. おわりに

被写体の対称性を利用しスケッチの形状を透視投影に従うよう補正する手法を提案した。画像中の線画を独立線に分離し、正確な透視投影に従って描かれた立方体から推定した消失点情報を用いて対称線分を正確な位置に修正する。

### 参考文献

- [1] Lun, Z., Gadelha, M., Kalogerakis, E., Maji, S., & Wang, R. 3D Shape Reconstruction from Sketches via Multi-view Convolutional Networks. 2017 International Conference on 3D Vision (3DV). (2017)
- [2] Delanoy, J., Aubry, M., Isola, P., Efros, A. A., & Bousseau, A. 3D Sketching using Multi-View Deep Volumetric Prediction. Proceedings of the ACM on Computer Graphics and Interactive Techniques, 1(1), 1–22. (2018)
- [3] Igarashi, T., Matsuoka, S., & Tanaka, H. (1999). Teddy. Proceedings of the 26th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques. SIGGRAPH '99. (1999)
- [4] Zheng, Y., Liu, H., Dorsey, J., & Mitra, N. J. Smart Canvas : Context-inferred Interpretation of Sketches for Preparatory Design Studies. Computer Graphics Forum, 35(2), 37–48. (2016)
- [5] E. Simo-Serra, S. Iizuka, K. Sasaki, and H. Ishikawa. Learning to Simplify: Fully Convolutional Networks for Rough Sketch Cleanup. ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH), 35(4), (2016)
- [6] François, A. R. J., Medioni, G. G., & Waupotitsch, R. Mirror symmetry $\Rightarrow$ 2-view stereo geometry. Image and Vision Computing, 21(2), 137–143. (2003).