

消失点検出を利用した手描きパース線画の対話的編集

倉田沙織¹⁾ 郷間理規¹⁾ 森博志¹⁾ (正会員)
外山史¹⁾ 東海林健二¹⁾

1) 宇都宮大学大学院工学研究科

Interactive Editing of Freehand Perspective Line Drawings Using Vanishing Point Detection

Saori Kurata¹⁾ Masanori Goma¹⁾ Hiroshi Mori¹⁾ (Member)
Fubito Toyama¹⁾ Kenji Shoji¹⁾

1) Graduate School of Engineering, Utsunomiya University

kurata@image.is.utsunomiya-u.ac.jp

アブストラクト

手描き線画は自分の考えやイメージを人に伝えるのに有効な表現方法である。手描きのパース線画は3D CADよりも短時間で制作することができ、変更も容易である。しかし、パース線画の完成後は、3D CADのように異なる視点から見た図を得るのは困難である。そこで、手描きパース線画から消失点を検出し、検出した消失点を任意位置へ移動させ、それに従い線画を変形することで擬似的に視点の移動を実現する対話的編集法を提案する。

Abstract

Freehand line drawings are used effectively for telling our ideas and visual images. A freehand perspective line drawing is usually completed shorter time period than that by 3D CAD and easy to redraw. However, it is hard to get freehand perspective line drawings which are looked from different points of view while it is easy for 3D CAD. So, we propose an interactive editing method to change a point of view for perspective line drawings using vanishing point detection and perspective transform.

1. はじめに

互いに平行なエッジを多数もつ建築物や工業製品、景観を撮影した画像から消失点を検出することにより、物体や景観と撮影したカメラとの間の相対的な向きというナビゲーション等に有用な情報を画像から取得することができる。消失点検出手法は、視点が原点、半径が1のガウス球面上の投票空間に画像中の多数の直線を投影して求める手法[1]、画像中の多数の線分について、各線分と1個の消失点を作り出す三角形の面積の二乗和を最小化して求める手法[2]、画像中の多数の線分について、消失点をガウス球面上に置き、各線分の両端点と1個の消失点と原点の計4個の頂点を作り出す四面体の体積の二乗和を最小化して求める手法[3]などがある。これらの手法は、画像中の線分から消失点を求める手法であるため、必ずしもカメラで撮影して得た画像のみが処理対象ではない。たとえば絵画制作において、建築物等の遠近感が重要となる立体を正確に描く上では消失点を利用した透視図法が重要となるが、手描き線画で作画した後、それとは視点を変えた図を得たい場合は再度作画を行う必要があり手間がかかる。このような場合、手描き線画から消失点を検出することで、線画レベルで編集を行うことが考えられる。本研究では、パースのある手描き線画に消失点検出手法を適用し、検出した消失点を移動することによって、線画で描かれた対象物体を変形させ、パースの強さや視点位置等の変更に類似した結果を得る手描きパース線画の対話的編集法を提案する。提案手法が対象とする線画は、形状が直方体1個の外観図あるいは内観図である。手描き線画に対して消失点検出手法を適用して線画の編集を行う手法の提案は、調べた範囲では本研究が最初である。本手法の消失点移動による線画変形の性質により、手描きによる絵画から同一の景観でもアイレベルの異なる画像を短時間で複数得る事が出来る。また、正確な作画による入力線画しか受け付けないCAD等の3Dソフトとは異なり、漫画のネームや下絵などにしばしば見られるラフで簡易的な線画の入力にも対応出来る利点があるため、漫画やアニメーション制作における支援などへの活用が期待できる。なお、本論文は文献[4]に追加的な記述を加えてまとめたものである。

2. 提案手法の概要

本研究で提案する手描きパース線画の対話的編集法を試作システムとして実装した。このシステムは、ユーザによってマウスやペンタブレットで描かれたパースのある線画を入力線画として、指定した位置に消失点が移動するように線画で描かれた対象物体を変形させる機能や、消失点を考慮して描画線の入力補助を行う等の機能を有している。線画の変形機能では、消失点を移動することによって、擬似的にパースの強さや視点位置の変更に類似した変形結果を得ることができる。

2.1 線画の入力

提案手法では、ユーザがマウスやペンタブレット等で入力した線画を処理対象としている。ユーザがマウスやペンで描画す

ると、マウスやペンの座標が毎秒一定回数読み込まれ、描画線の入力データとなる。線画から消失点を検出するためには、描画線を線分として扱う必要がある。試作システムの実装では、単純に、描画線の始点と終点を線分の両端点とみなして扱うこととした。すなわち、ユーザは真っ直ぐな線分のみで線画を描くことを要求される。これは、試作システムの利用上の制限であるが、提案手法の適用範囲の制限を示すものではない。たとえば、描画線に沿って測った線の長さを L_w 、描画線の始点と終点との直線距離を L_s とし、両者の比 L_w/L_s が閾値 α 以下の場合に線分、それより大きい場合には曲線と判断し、線分のみを消失点検出処理の対象とすることが考えられる。このような線分と曲線の判定を使うと、真っ直ぐな線分のみで線画を描くという描画線入力の制限を緩めることができる。

2.2 消失点検出の原理

入力された線画から消失点を検出する原理について説明する。試作システムでは文献[3]の四面体体積最小化法による消失点検出法を用いた。この手法ではまず図1に示すような x - y - z 座標系を用い、投影中心 O を原点とし、画像平面を $z=-f$ に置く。消失点は、ガウス球と呼ばれる単位球を原点に配置し、球面上の点 (u_x, u_y, u_z) でこれを表現する。

原点からガウス球面上での消失点 (u_x, u_y, u_z) を延長し、画像平面と交差した点が画像平面上での消失点 (x_p, y_p) である。

ある消失点に収束する N 本の線分集合の i 番目の線分の両端点を $(x_1^{(i)}, y_1^{(i)}, -f)$ と $(x_2^{(i)}, y_2^{(i)}, -f)$ とする。また、原点 O とガウス球面上の点 $P(x, y, z)$ と i 番目の線分の両端点から構成される四面体の体積を $V^{(i)}(x, y, z)$ とする。各線分での四面体の体積の二乗を N 本の線分で総和をとった $S(x, y, z)$,

$$S(x, y, z) = \sum_{i=1}^N (V^{(i)}(x, y, z))^2 \quad (1)$$

を点 $P(x, y, z)$ がガウス球面上にあるための条件 $x^2 + y^2 + z^2 = 1$ の下で最小化することでガウス球面上の消失点 (u_x, u_y, u_z) を求めることができる。四面体体積最小化法では、線画を構成する全線分を消失点毎の線分集合に分類する線分クラスタリングと、各線分集合からの消失点検出が同時に行われる。

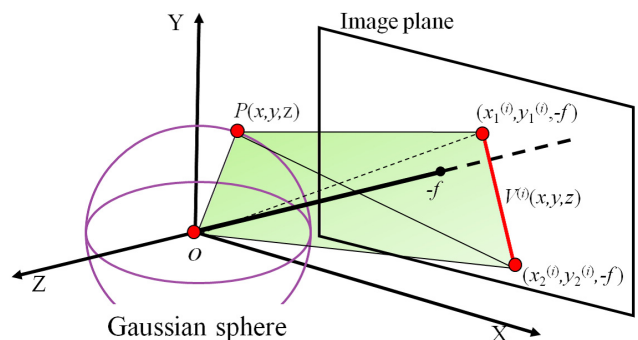


図1. 原点、ガウス球面上の点、線分の両端点で構成される四面体。

2.3 入力線画からの消失点検出

描画線から得られた線分を入力として、消失点検出法により消失点を検出し、同時にその消失点にどの線分が収束するかを分類する。図2は入力線画例(左)と、クラスタリング結果(右)であり、黄、青、緑線は、描画線の一方の端点と、各消失点を結ぶ線分である。

文献[3]では、 640×480 画素のCG画像および写真に対して、焦点距離 $f=860$ 画素、線分クラスタリングにおける四面体体積の2乗に関するしきい値 $V_{th}=5.0 \times 10^4$ 、3次元空間における三つの消失点方向の直交条件の許容誤差 $\theta_{th}=5.0^\circ$ のパラメータで消失点検出実験を行っている。本研究では、 1200×750 画素の手描き線画画像に対して、 $f=400$ 画素、 $V_{th}=2.5 \times 10^5$ 、 $\theta_{th}=50^\circ$ とした。ここで、三つの消失点方向の直交条件の許容誤差 θ_{th} を大きくしたのは、手描きで直方体形状の線画を描くと、目視では問題なく見えても、検出された三つの消失点方向が直交条件から大きくはずれる場合があり、そのような場合も許容できるようにするためである。

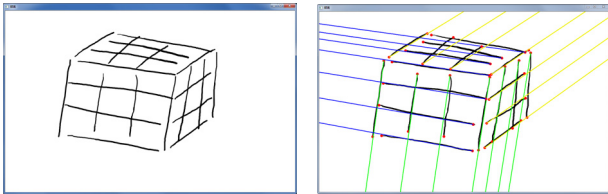


図2. 入力線画の例(左)とそのクラスタリング及び消失点検出結果の例(右). 右図で黄、青、緑線の延長線上にそれぞれ3つの消失点がある。

入力した線画に歪みがある場合でも、文献[3]の手法は最小2乗法の考え方で消失点を求めるため、歪みが小さい場合には正解に近い消失点を求める事が可能である。CGで図2に似せて作成した線画に対して、歪みとして線分の向きに誤差を与えた場合の消失点検出の例を図3に示す。

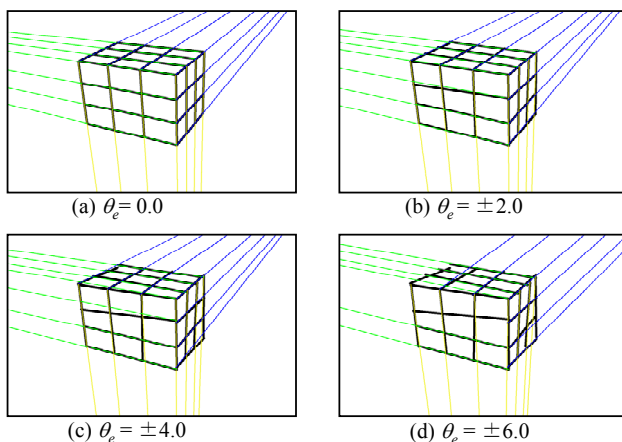


図3. CG線画中の線分の向きに一樣乱数で歪みを与えたときの消失点検出結果の例。(a)では歪みなし、(b)から(d)では、それぞれ、区間 $[-2, 2]$ 度から $[-6, 6]$ 度の一樣乱数で各線分を回転させた線画を用いた。

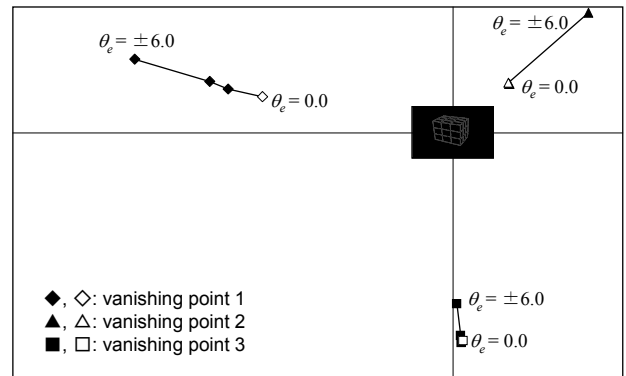


図4. CG線画に図3に示す歪みを与えたときに検出された消失点位置の変化。◇, △, □印は歪みなしの場合を示す。

図3(a)は歪みのない場合で、図3(b)から(d)は、それぞれ、区間 $[-2, 2]$ 度から $[-6, 6]$ 度の一樣乱数で各線分を回転させた線画を用いた場合の消失点検出結果である。図3(a)から(d)で検出された消失点位置を図4に示す。図3(d)のように歪みが大きい場合には、どの消失点にも属さない線分がみられるようになり、消失点位置も歪みなしの場合の位置から大きくずれていることがわかる。図3と図4より、妥当な消失点検出結果を得るために許容される歪みは図3(c)程度までであると考えられる。

2.4 消失点の方向への描画線の回転

消失点の検出後、消失点毎にクラスタリングされた描画線は描画誤差により、その延長線は検出した消失点を通らない。そこで、描画線の延長線が消失点を通るように補正するため、描画線を回転移動する。図5に図2で検出した消失点の方向に各描画線を回転した結果を示す。描画線の両端点と消失点が同一直線上になるように回転移動されていることがわかる。

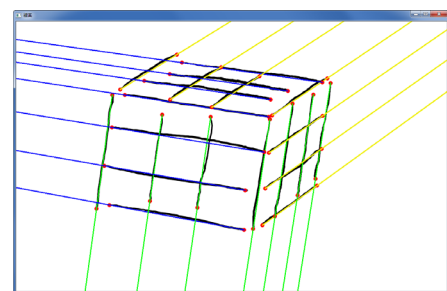


図5. 描画線の回転結果。

2.5 消失点検出結果を利用した線画の編集

入力された描画線から消失点を検出し、消失点の方向へ各線分を回転して向きを補正した後、消失点の移動により線画で描かれた対象物体を変形する。消失点の移動は視点位置やパースの強調の程度を変更することを意味し、描き手のイメージに沿うような線画に仕上げることを可能とする。提案手法では直方体の形状の物体を描いた線画を想定しているため、複数の面で対象物体形状が構成されている。そのため、各面毎に面上にある描画線群を消失点の移動に対応したパラメータでそれぞれ射

影変換して、擬似的に線画の視点位置やパースの強調の程度を変更したような変形結果を得る。視点位置やパースの強調の程度を変更する別の方法として、消失点を利用して線画からの3次元復元を行い、復元結果を異なる視点から仮想カメラで撮影して変形結果を得ることも考えられる。しかし、3次元復元は、カメラで撮影して得た画像を対象とし、画像中のカメラレンズの光軸点の推定なども必要であるため[5]、本研究で対象とするような手描きでラフに制作されたパース線画への適用は困難であると判断し、提案手法では、3次元復元は行わず、それと類似の結果を各面毎に消失点位置の移動に基づく射影変換で得るようにした。次節では、消失点位置を移動する場合に、描画線が常に消失点に収束し、対象物体の形状が崩れず自然な変形結果が得られるように線画を変形する方法について説明する。

3. 消失点の移動による対象物体の変形

提案手法が対象とする線画は、物体形状が直方体1個の外観あるいは内観とし、これに対して、2章で説明した方法で、消失点を検出し、消失点の方向へ各線分を回転して向きを補正してあるとする。

本手法の対象とする変形は、線画により表現され可視化されている範囲の面の変形を対象とし、線画で表していない面は対象としない。表現されていない面が変形結果に現れる状況であっても、その部分を補う機能はない。逆に、線画で表現された面が変形結果で見えなくなる場合や他の面で遮蔽される場合であっても、隠線消去機能は無いためそのまま透けて表示されユーザの意図したとおりの結果は得られない場合がある。以上より、本手法は線画で表現され可視化される範囲の面の新たな出現や消失のない範囲の変形のみ有効である。

3.1 各面に属する線分の選択と頂点の検出

直方体の各面に属する線分は、ユーザがマウス等により選択・指定する。直方体のある面 s に属する線分群は、一般に、面 s を囲む長方形の4辺を含むので、2つの消失点をもつ。それらの消失点を vpA , vpB としたとき、面 s に属する線分群を vpA , vpB それぞれに収束する線分群 L_A , L_B に分割する。線分群 L_A , L_B 中のから、長方形面 s の辺となる4本の線分を取り出し、それらの交点として求められる長方形面 s の頂点を、射影変換前の4頂点とする。図6に面毎に選択された描画線と、各面を構成する頂点を示す。

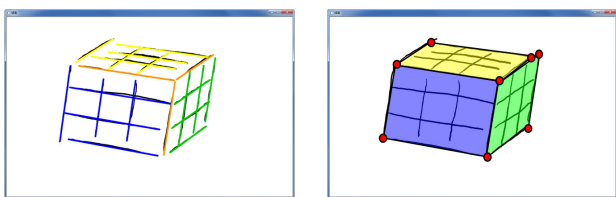


図6. 面毎に選択した線分 (左) と各面と頂点 (右)。

3.2 手描き線画の変形

移動対象の消失点を vpX とし、その消失点を vpX' に移動させるとする。このとき vpX に収束する線分群が vpX' に収束するように面を変形しなければならない。消失点を移動させ、線画を変形した例を図7に示す。この例では、消失点は画面の外に存在するため、その方向を矢印で示す。図7では、左図を変形して得た線画を右図に示している。対象物体形状が直方体の場合、概観図でも内観図でも、一般に可視面は3面、消失点は3個ある。3.1節で説明したように、一つの面に対応する消失点は2個であり、また、一つの消失点に収束する線分群を有する面は2面である。従って、消失点1個を移動するとき、変形すべき面は2面となる。直方体の可視面が2面あるいは1面となるような線画については、変形が不要な不可視面があるとみなし、以下では、可視面が3面で、一つの消失点を移動するときの変形方法を説明する。

図8に示すように、移動対象の消失点を vpX とし、それを vpX' に移動させるとする。このとき、変形すべき面は s_1 , s_2 となり、 s_1 に属する線分群が収束する消失点を vpX , vpY , s_2 に属する線分群が収束する消失点を vpX , vpZ とする。

順番は任意であるが、説明では、まず s_1 の変形を行う。 s_1 の変形前の4頂点を射影変換前の4頂点とする。変形しない面と接している2頂点 p_1 , p_2 は移動せず、 s_1 の残りの頂点 p_3 , p_4 を次のように移動する。 vpY に向かう p_3 , p_4 を通る直線を lv とする。 vpX' に向かう直線で、 p_1 を通る直線を lx_1 , p_2 を通る直線を lx_2 とする。このとき、図8右に示すように、 p_3 を lv と lx_1 との交点に、 p_4 を lv と lx_2 との交点に移動する。以上の処理で得られた4点 p_1 , p_2 , p_3 , p_4 を射影変換後の4頂点とし、射影変換前の4頂点を射影変換後の4頂点に射影変換するパラメータを求め、面 s_1 に属する線分群の両端点の座標を射影変換する。

次に、 s_2 の変形を行う。まず、 s_2 の変形前の4頂点を射影変換前の4頂点とする。次に、図9左に示すように、 s_1 に接している2点 p_5 , p_6 を面 s_1 の射影変換パラメータにより移動する。そして、面 s_1 に接してなく、かつ、変形しない面に接している頂点を p_7 とし、 p_7 と vpX' を通る直線を lx_7 とする。図9右に示すように、 p_5 と vpZ を通る直線を lz_5 とし、 p_8 を lx_7 と lz_5 との交点に移動する。以上の処理で移動した4点 p_5 , p_6 , p_7 , p_8 を射影変換後の4頂点とし、射影変換前の4頂点を射影変換後の4頂点に射影変換するパラメータを求め、面 s_2 に属する線分群の両端点の座標を射影変換する。

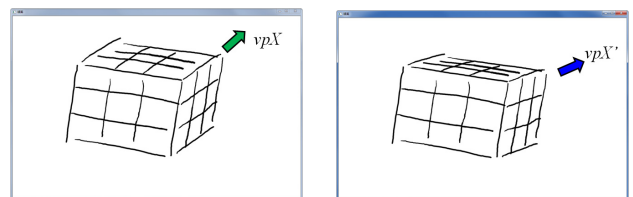


図7. 入力線画 (左) と入力線画の変形例 (右)。

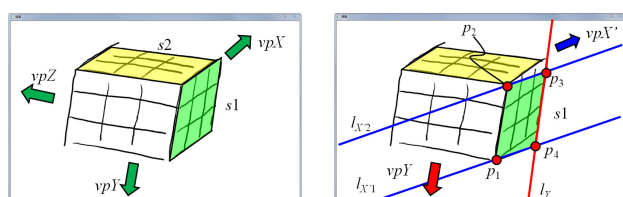


図8. 変形する面 s_1, s_2 (左) と s_1 の変形結果 (右).

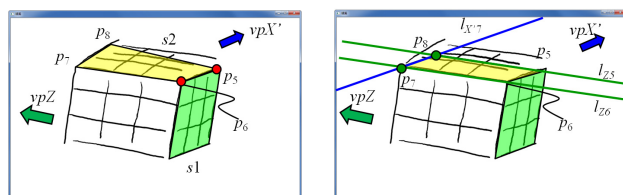


図9. s_1 に接する2点の移動 (左) と s_2 の変形結果 (右).

3.3 線画の変形例

建築物の外観、内観を描いた線画を入力とし、消失点を移動させ、線画の変形を行った例を図10と図11に示す。変形結果は、対象物体を構成する面にずれがなく自然な変形結果が得られたことがわかる。

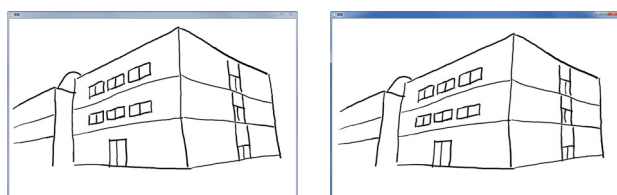


図10. 建築物外観線画 (左) とその変形結果 (右).

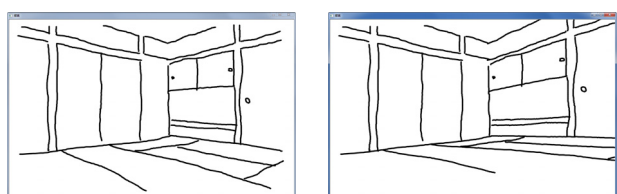


図11. 建築物内観線画 (左) とその変形結果 (右).

4. まとめ

形状が直方体1個の外観あるいは内観を描いたパースのある手描き線画を対象とし、これに消失点検出法を適用して得た消失点を移動することによって、線画で描かれた対象物体を変形させ、パースの強さや視点位置等の変更に類似した結果を得る手描きパース線画の対話的編集法を提案した。そして、マウスやペンタブレット等での描画線の入力補助や、消失点位置の変更に従い線画の変形を行う機能を有する手描き線画入力編集システムを試作した。複数の入力線画に対して、線画の変形による視点位置の変更を行った結果、変形後も各面が互いにずれの無い結果を得ることができた。形状が複数の直方体の組み合わせの場合の外観あるいは内観を描いたパースのある手描き線画については、今後の課題とする。

参考文献

- [1] S.Barnard, Interpreting Perspective Images, Artificial Intelligence, Vol.21, pp.435-462, 1983.
- [2] Burchardt, C. B., and Voss, K, Robust vanishing point determination in noisy images, ICPR, Vol.1, pp.559-562, 2000.
- [3] 郷間理規, 森博志, 外山史, 東海林健二, 四面体体積最小化法による消失点検出, 電子情報通信学会論文誌D, Vol.J98-D, No.7, pp.1118-1121, 2015.
- [4] 郷間理規, 倉田沙織, 森博志, 外山史, 東海林健二, 消失点検出を利用した手描き線画の対話的編集, 映像表現・芸術科学フォーラム2015, 映像情報メディア学会技術報告, Vol.39, No.14, pp.141-144, 2015.
- [5] 池田直樹, 菅谷保之, 金谷健一, 1枚の画像からの3次元復元の統計的最適化, 情報処理学会報告, 2004-CVIM-146-16, pp.117-124, 2004.

倉田 沙織



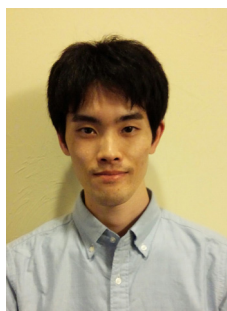
2014年宇都宮大学工学部情報工学科卒業。現在、同大大学院工学研究科博士前期課程情報システム科学専攻在学中。画像処理、映像表現に関する研究に従事。

外山 史



2000年、宇都宮大学博士後期課程生産・情報工学専攻修了。同年、宇都宮大学助手。現在、同大准教授。博士（工学）。進化計算、画像・パターン認識に関する研究に従事。

郷間 理規



2013年宇都宮大学工学部情報工学科卒業。2015年同大大学院工学研究科博士前期課程修了。在学中、画像処理に関する研究に従事。

東海林 健二



1981年、慶應義塾大学大学院工学研究科博士課程修了。同年、宇都宮大学工学部助手。現在、同大大学院工学研究科教授。工学博士。画像・パターン認識に関する研究に従事。IEEE、電子情報通信学会、情報処理学会、電気学会、映像情報メディア学会、日本心理学会各会員。

森 博志



2007年、筑波大学大学院システム情報工学研究科了。2008年、筑波大学大学院システム情報工学研究科研究員。2010年、同大学院人間総合科学研究科研究員。2012年、宇都宮大学大学院工学研究科助教。CGアニメーション、インタラクティブシステムの研究に従事。博士（工学）。正会員。