

手書きスケッチによる自動車のボディ形状デザイン

五十嵐 健夫[†], 中嶋 孝行[‡], 小寺 敏正[‡], 田中 英彦[†]

[†]東京大学 情報工学専攻

Email: takeo, tanaka@mtl.t.u-tokyo.ac.jp

[‡](株)アルモニコス

Email: naka, kodera@armonicos.co.jp

1. はじめに

CAD システムの発展と普及により、建築物から工業製品、服飾といった広い分野において、デザイン段階でのコンピュータの利用が盛んになっている。しかし、デザインのごく初期の段階では、依然として手書きスケッチが使われることが多い。これは、コンピュータを利用した作業が複雑であるために、想像力を自由に働かせたり様々なバリエーションを試すことが必要とされる初期のデザインには適さないためである。

このような状況のもと、これまでコンピュータの利用が難しかった手書きスケッチによる初期のデザイン作業を支援しようとする試みがいくつか始められている[4, 6]。本稿では、このような試みの一環として、自動車のボディ形状デザインにおける手書きスケッチの3次元モデル化について紹介する。

これは、ユーザが手書きによって液晶タブレット上に描いたスケッチ画を元に、適当な3次元モデルを構成して提示するものであり、特に大まかな形状を、できるだけ少ない手間で構成することを目標とする。従来の手書きスケッチによるモデリング手法の多くが、ユーザの対話的な作業を前提としていたのに対し、今回の研究は静的なバッチ処理を仮定している点を特徴とする。

具体的には、複数のストロークからなる静的なスケッチ画をタブレットから受け取り、それを元にバッチ的に3次元モデルを構成し、立体視ディスプレイ上に提示することによりデザイン作業を支援するシステムについて紹介する(図1)。また、対象を典型的な自動車に限定することで非常に少ない情報から適当な3次元形状を推定するアルゴリズムについて詳しく説明する。

2. 関連研究

手書きスケッチの3次元化に関する研究例は



図1: システム概念図

数多くあるが、大きく分けて、スキャナで取り込んでから3次元構造を推論するもの[3]、コンピュータディスプレイを見ながらインタラクティブに構成していくもの[1, 2, 5, 7, 8, 9]、の2種類がある。

前者の場合は、デザイナーがコンピュータをまったく意識しなくてよいという利点があるが、ストロークの切り出しが困難であり複雑な形状の復元は難しい。また、完全に自由な手書きスケッチの3次元化は非常に困難な問題であり、現段階で対象されているのは、特徴線のみを明示的に描いたような図のみである。利用方法としては、デザイン作業の支援というよりは、3次元モデルの生成を楽に行うための手法の一つとしての側面が強い。

インタラクティブな手法は、ユーザの入力したストローク情報をそのまま使え、かつカメラ制御をはじめとする付加的情報が多く得られるため、多彩で正確なモデリングが可能となる。しかし、その分、操作は複雑にならざるを得ず、紙とペンを使った場合のような自由さは得られ

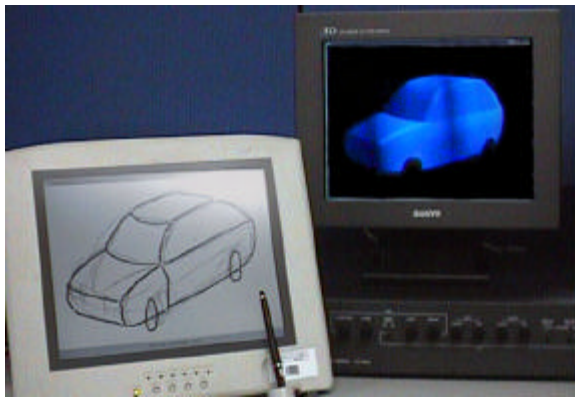


図2: 利用したハードウェアの概観
左が液晶タブレット、右が立体視ディスプレイ

ない。この場合も、多くのシステムは、3次元モデルの生成作業の負担軽減を主目的としており、形状デザインの支援に使われるようにはなっていない。Zelevnik らの SKETCH システム[9]は、特にラフスケッチに相当する初期デザイン作業を目的としているが、3次元モデル形状というよりは、単純な3次元プリミティブを重ねあわせたシーンの記述を行うためのシステムとなっている。一方、五十嵐らの Teddy システム[5]は独立した3次元モデル形状のデザインに適しているが、自動車のような工業製品でなく、動物や植物といった規則性のない物体の概形のみを対象としている。

以上のように既存の3次元化システムが主に出力としての3次元モデルを得ることを最終的な目的としていたのに対し、本稿で紹介するシステムはデザイナーの紙の上でのスケッチ作業を支援することを目標としており、その3次元モデルを外で利用することを目的としていない。すなわち、本システムで提示される3次元モデルは、デザイナーの思考を助けるための手段に過ぎず、最終的な生産物はデザイナーのスケッチ画として得られるものとする。そこで本システムでは、デザイナーの操作負担をできるだけ低く押さえるために、敢えてインタラクティブな手法を採用せず、手書きスケッチをバッチ的に処理する手法を採用している。

3. システム構成とユーザインタフェース

本システムでは、手書きスケッチを行うための液晶付きタブレット(武藤工業 MVT-14)と、3次元形状を表示するためのめがね無し立体視

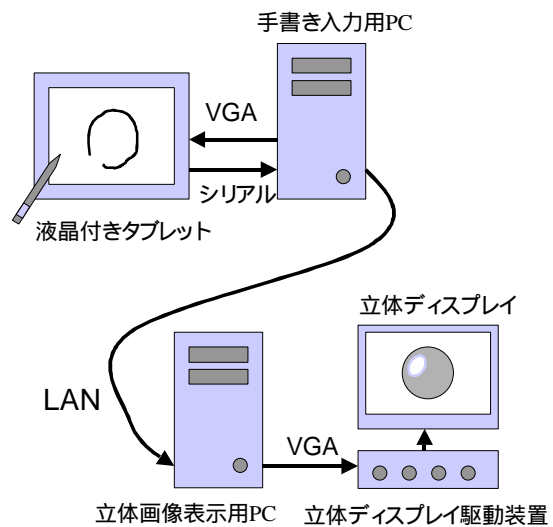


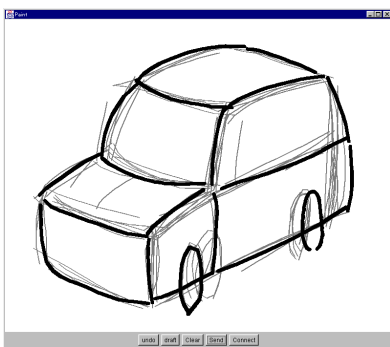
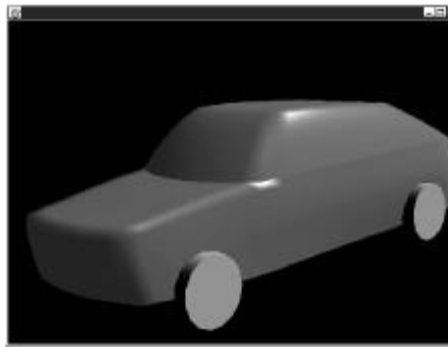
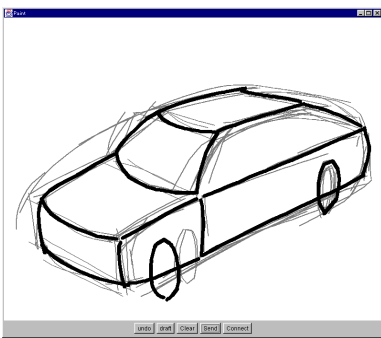
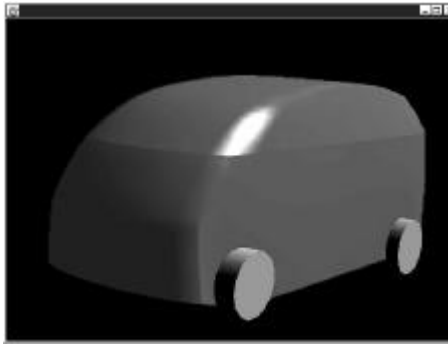
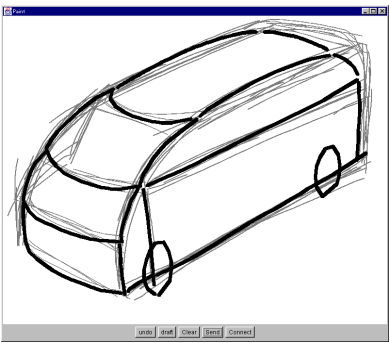
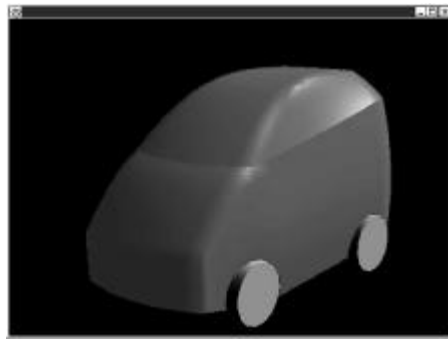
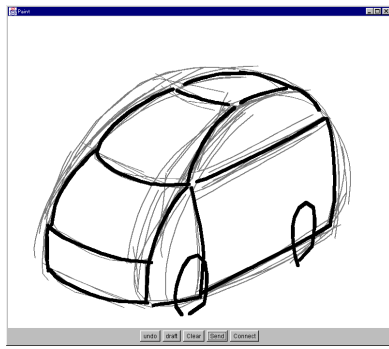
図3: システム構成

ディスプレイ(三洋電気 THD-15DX1)を併用する(図2, 3)。それぞれには PC が接続され、その間には LAN で結ばれている。通信はソケットによる。実装は JAVA および JAVA3D による。眼鏡無し立体視ディスプレイは、細かいスリットを組み合わせることで、左右の目に違う映像を提示するもので、立体映像を見るためには頭を規定の位置の固定する必要がある。

デザイナーは、タブレット上に紙の場合と同じ要領でスケッチによるデザインを行う。視点の基本的な方向は固定である(現在は車の左前に視点がくる)が、細かい位置を気にする必要はない。将来的には、このスケッチをそのまま入力とすべきであるが、現段階では清書モードに入りあらかじめ定められた 19 本の特徴線とタイヤを表す 2 本の円を清書として描いてもらい、それを立体化エンジンへの入力とする。入力の順序や方向は問わない。入力されたストローク情報(点列の集合)は、立体化エンジンによって3次元モデル(ポリゴンメッシュ)に変換され、最終的に立体視ディスプレイ上に提示される。

タブレット上では、ストロークの描画と消去以外に、下書きと清書の切り替え、3次元化、といった操作がボタンによって実行される。一方、立体視ディスプレイ上では回転や移動といったカメラ操作がマウスによって行われる。

図4に、本手法を用いた立体化の例を示す。スケッチは開発者の手によるものである。なお立体化計算は瞬時に行われる。



左: 入力スケッチ (灰色が下書きで黒が清書) 右: 立体表示される3次元モデル

図4 スケッチの3次元化例

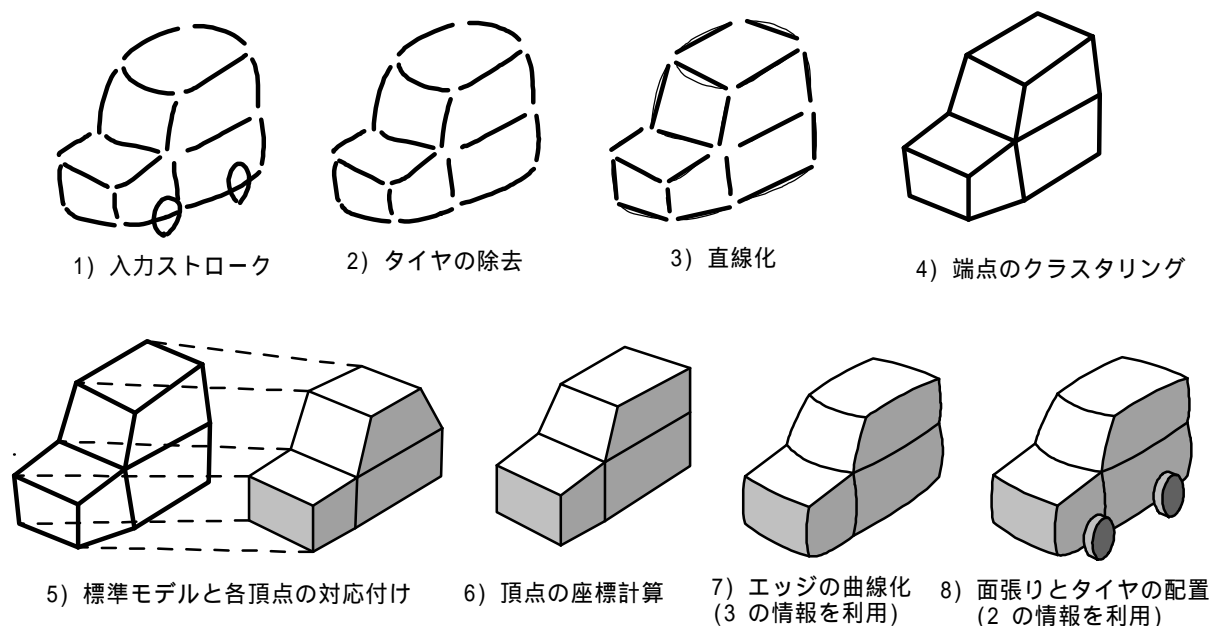


図5: 3次元モデル生成アルゴリズム

4. アルゴリズム

ここでは、入力として与えられた 21 本の手書き曲線（内部的には折れ線。図 5-1）から 3 次元ポリゴンモデルを構成するアルゴリズムについて説明する。本手法では、対象とするモデル形状を限定することにより、手書き入力のもつ曖昧性からくる情報の不足や矛盾を解消している。

まず、円状のストローク 2 本を認識し、タイヤ用として取り除き(図 5-2)、残った 19 本のストロークを始点と終点を結んだ直線で置き換える(図 5-3)。その際、もとの曲線と直線との間の距離を曲線の形状として記録しておく。

次に、直線化されたストロークの端点のクラスタリングを行い、38 個の点を 13 個にまとめる(図 5-4)。この結果、入力ストロークによる連結グラフが構成されるので、その位相情報や位置情報などを利用して、入力された点やストロークとモデル内の頂点とエッジとの対応をとることができる(図 5-5)。

対応が取れた後は、それぞれの点に関して、3 次元空間での位置を計算する(図 5-6)。その際、モデルが xy 平面に関して左右対称であることや左右の側面がほぼ平行であることなどの制約を利用する。なお、具体的な座標計算方法については次節で詳しく説明する。

ここまでの処理によって、直線のフレームで表現された形状が得られる。次に、あらかじめ記録しておいた入力ストロークの曲がり具合を、各エッジに反映させることによってエッジを曲げる(図 5-7)。エッジを曲げる際の方向は、各エッジによってあらかじめ定められている(たとえばフロントガラス周りは前方へ張り出す)。最後にスイープによって面を張り、タイヤを配置して、最終的な 3 次元モデルを構成する(図 5-8)。

なお、内部で利用している各種パラメータは、キャリブレーション操作として、立体ディスプレイ上に表示された基準直方体をデザイナーにスケッチで描いてもらうことによって調整される。

5. 各頂点の座標計算法

ここでは、参考までに現段階での実装で用いられている計算方法を簡単に説明する。ただし、ここで紹介する計算方法は実験的なものであり、今後根本的な改善が必要である。特に、計算性能の向上と拡張性の確保のために、何らかの宣言的記述を導入することが有効と考えられる。

車の前後方向を x 軸、上下方向を y 軸として、3 次元モデルは xy 平面に対して対称なものとする。よって決定すべきなのは、片サイド 8 点の座標。そのうち、前面および上面側の 5 点(図 6, 点 0-4)の z 座標はエッジ a-e の長さにより決定

する。残りの3点(点5-7)のz座標は、点2と同じとする。8点のx座標は、画面左端からの距離とし、y座標は、エッジfからの垂直方向の距離とする。(実際にはパースを考慮した補正が入る。)ここで、エッジの長さや距離を3次元座標に変換する際の変換式に必要なパラメータは、最初のキャリブレーションによって得られたものを使用する。

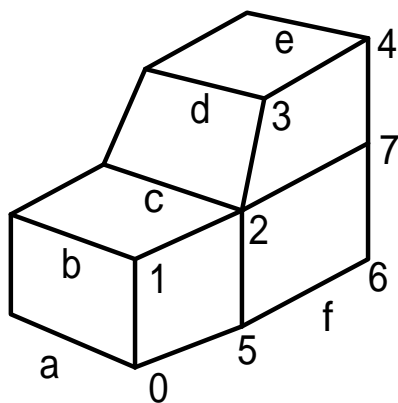


図6: 座標計算

6. 議論

モデリングシステムとして利用するためには、システムの提示する3次元モデルと直接インタラクションする方が、より多様な形状をより正確に作成することができて都合がよい。しかし、本システムは、あくまでも手書きでのデザインプロセスを支援するためのものであるため、あえてインタラクションを許さず、紙の上での作業に近い静的なスケッチのみを入力としている。

また、本アルゴリズムの考え方は、数学的に2次元投影図から3次元形状を計算するものでなく、あくまでも「それらしい」形状をヒューリスティクスを多用して推定するものである。このような方法は、画像認識等には不適切であるが、もともと情報が欠落し矛盾を含んでいるデザインスケッチの3次元化手法として有用なものである。(ただし、現段階で実装されているアルゴリズムそのものはまだ初歩的であり、大幅な改善の必要がある。)

本手法は、あらかじめ形状を限定しているため、限られたバリエーションの中で効果的な表現を模索している状況で有効である。より劇的な形状操作を伴う場合や、逆にもっと細かい表現を行いたい場合には、また別の手法が必要である。

なお、自動車のデザイナーに本システムを試用してもらい、以下のようなコメントを得ている。

「手書きスケッチで設計中の車体の形状を立体映像として見ることができれば、デザイン作業の助けになると考えられる。今回の実装については、まだ望みどおりの形状を得るには至っていないが、考え方自体は面白い。なお、自動車をデザインするには、あらかじめサイズが決まっている場合が多いので、それを入力として与えておくのは自然な作業である。」最後のコメントの、サイズをあらかじめ入力として与えるというのは、形状を正しく推測する上でも重要な手がかりになると考えられるので今後システムに組み込んでいきたいと考えている。

なお、コメント以外に観察された事項としては以下のようなものが得られた。まず、液晶付きタブレットの操作は多少実際のペンと異なるために、最初慣れるまでは使いにくいようであったが、数分のうちに問題なく使いこなせるようになった。次に、今回の実装では、操作取り消し、モード切り換え、および立体表示のためのボタンが3つあったただけであったが、それでもデザイナーは煩雑と感じるようであった。視点をキャンパスからボタンのある領域へ移さなければならぬのが問題なようである。よって、すべての入力を線分描画に限定し、特定のコマンドはジェスチャの描画によって行う方式が有効と考えられる。立体表示された映像の回転操作等に関しても、マウスによる操作よりも、描画に使ったペンをそのまま使ったり音声認識による方法が望ましいとの反応であった。全体的に、デザイナーのインタフェースに対する嗜好がプログラマのそれと異なる例が多く観察された。

7. まとめ

本稿では、自動車のボディ形状デザイン支援を目的とした、手書きスケッチの3次元化システムについて紹介した。モデルを限定することにより、非常に少ない手間で多様な形状を表現できることが可能となっている。今後は、アルゴリズムの改良とともに、他の形状へ応用するための一般化に取り組む予定である。

謝辞

本研究は、文部省科学研究費補助金(課題番号10-04686)による研究成果の一部である。

参考文献

1. M. Akeo, H. Hashimoto, T. Kobayashi, T. Shibusawa. "Computer Graphics system for reproducing three-dimensional shape from idea sketch", Eurographics '94 Proceedings, 13(3):477-488, 1994.
2. V. Branco, A. Costa, F.N. Ferriera, "Sketching 3D models with 2D interaction devices", in Proc. of Eurographics'94, 13(3), pp.489-502, 1994.
3. L. Egli, et. al, Inferring 3D models from freehand sketches and constraints, Computer Aided Design, Vol.28, No.2, pp.101-112, 1997.
4. M.D. Gross, E.Y. Do, "Ambiguous Intentions: A Paper-like Interface for Creative Design", in Proc. of UIST'96, pp. 183-192, 1996.
5. T. Igarashi, S. Matsuoka, H. Tanaka, "Teddy: A Sketching Interface for 3D Freeform Design", SIGGRAPH 99, to appear.
6. J.A. Landay, B.A. Myers, Interactive sketching for the early stage of interface design, CHI'95.
7. K. Matsuda, K. Kondo, User Interface Using Freehand Sketch for 3D Geometric Modeling, 8th ICECGDG, pp.185-189, 1998.
8. D. Pugh, "Designing solid objects using interactive sketch interpretation", Computer Graphics, Vol.25, No.2, pp. 117-126, 1992.
9. R.C. Zeleznik. K.P. Herndon, J.F. Hughes, "SKETCH: An Interface for Sketching 3D Scenes", SIGGRAPH 96, pp. 163-170, 1996.