手早く正確な図を描くことのできる描画システム

五十嵐 健夫　　†河内谷 幸子　　‡松岡 聡　　田中 英彦　　*
東京大学 情報工学専攻
†東京大学 情報科学専攻
‡東京工業大学 数理・計算科学専攻

1　はじめに

計算機上での図形描画システムはすでに一般に広く普及しており、簡単な操作で紙の上の作業では困難であった正確な図形を手早く描くことが可能になっている。しかし、ただ単に独立した図形要素を適当に並べるだけでなく各種の幾何的位置関係を満たした図形を描こうとした場合には、通常複雑な操作を組み合わせて使用することが必要となる。たとえば、対称な図形を描く場合には複製、反転、移動、といった操作を組み合わせて使わなければならず、また斜線に垂直な線分を描く場合には複製、90 度回転、といった操作が必要になる。

これらの複雑な操作は、描画作業の効率を下げる原因であり、また適切な操作の組み合わせを見つけられないことによる不完全な図形描画の原因にもなり得る [2]。我々は、このような 幾何制約充足に関わる編集操作からユーザを解放する「対話的整形」という描画手法を提案、プロトタイプシステムを実装している [1]。

図 1 に、プロトタイプシステム上での描画例を示す。本手法により、この図のように左右対称や平行垂直、接続、平行線分間の距離の一致といった複雑な制約を満たす図形を、複製や反転・回転といった編集操作や特殊な描画モードを一切使用することなく描くことが可能となる。

2　対話的整形による図形描画

本手法は基本的には フリーストロークの自動整形であり、以下のようにして描画が行なわれる。

まず、ユーザは意図する線分をフリーストロークで描く (図 2a)。次にシステムが、入力されたフリーストロークとすでに描かれている図形との位置関係から満たされるべき幾何制約を自動抽出する (図 2b)。その後、抽出された制約を連立方程式として解くことにより線分の位置を計算し、整形図形として表示する (図 2c)。

入力図形と整形結果の例を図 3 に示す。実際にはこれらの制約を複数同時に抽出して解くことにより描画

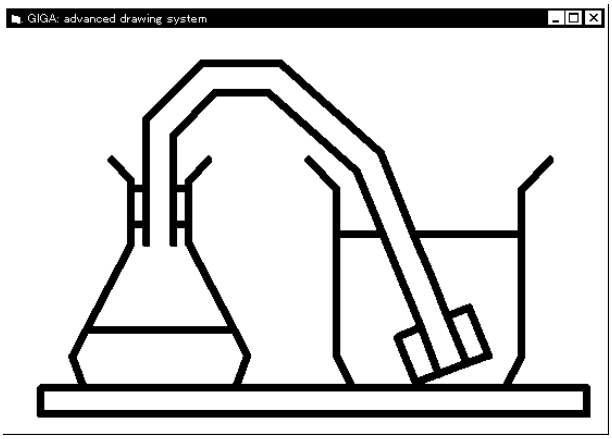

図 1: プロトタイプシステム上での描画例

が行なわれる。

3　複数候補の自動生成

しかし、このような自動認識機能をもったシステムには、常に入力の曖昧性および認識の失敗という問題が存在する。例えば図 4a のような入力があった場合には、ユーザの意図した図形として図 4b のようなさまざまな可能性が考えられ、一意に定めることが困難である。また、制約を自動抽出した段階では決定すべき変数の数に比べて過剰な数の制約がえられることが普通であり、どのようにして最適な解を得るかが問題となる。

そこで本システムは、制約を解く際に連立方程式と

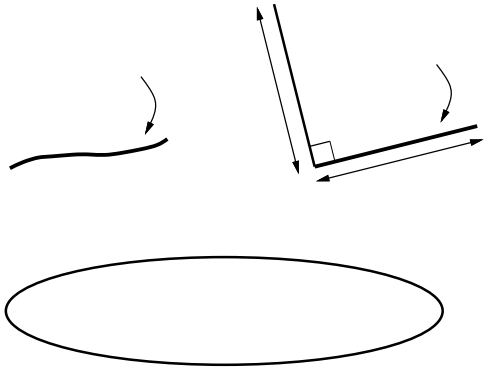

図 2: フリーストロークによる入力と自動整形

---

* A Constraint Drawing System Combining Dexterity and Precision
Takeo Igarashi, †Sachiko Kawachiya, ‡Satoshi Matsuoka, Hidehiko Tanaka :
Dept. of Information Engineering, Univ. of Tokyo,
†Dept. of Information Science, Univ. of Tokyo,
‡Dept. of Math. and Comp. Science, Tokyo Inst. of Tech.

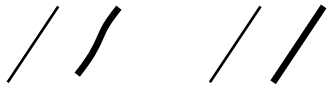

図 3: さまざまな制約による整形

して矛盾しない組み合わせをすべて数えあげ、それぞれを解くことにより複数の候補の自動生成を行なう。生成された複数の候補は画面上に表示され、ユーザは希望する候補を直接タップすることで候補を選ぶことができる (図 4b)。さらに、現在選択されている 候補の満たしている制約が視覚的にユーザに示され、よりスムーズな描画作業を実現している。

以上によって、曖昧性の問題が解消され、認識誤りに妨げられない安定した描画が可能となる。

4 実装

プロトタイプシステムは Visual C++ および Visual Basic で記述されており、 windows 95 上で稼働する。入力が終了してから 結果を返すまでの時間は 0.1 秒以下であり、対話的な作業が可能である。現在 各社のペンコンピュータや XEROX 社の電子黒板システムである Liveboard 上で実験を行なっている。

扱える図形は直線のみで、制約としては端点の水平垂直方向の座標の一致、端点と線分の接続、線分の角度の平行・垂直関係、線分対の水平鉛直方向に関する対称関係、平行線分間の距離の一致などが実装されている。

5 関連研究

Apple 社の Newton などに見られる既存のペンによる描画システムは、フリーストロークを入力として線分や長方形といった整形された図形を返し、さらに必要に応じて端点接続や線分の水平垂直化などの制約を満たすことができる。今回提案する対話的整形システムはそれら既存のシステムに比べて 1) 平行や幅の一致といったより複雑な制約を同時に満たすように整形を行ない、かつ 2) 曖昧性の解消のために複数候補を自動生成する、という点が異なっている。

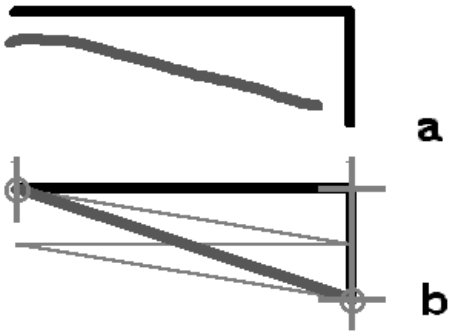

図 4: 入力ストロークの持つ曖昧性と複数候補の自動生成

整形システム [5] と比較した場合には、図が完成してからまとめて整形するのでなく、ストローク毎に整形して結果を返していく点が異なっている。こまめにユーザとのインタラクションを行なうことによって、整形によって図形が全面的に破壊される危険を侵さずに、安定して描画をすすめることが可能になる。

ペン入力の認識に関してはさまざまな研究がある [4][3] が、多くは入力を単体で認識して特定のパターンに変換するものであり、ある特定の目的にそった図を描くのに適している。しかし、対話的整形は入力ストロークを幾何制約を満たす直線に変換するものであり、より一般的な図形の描画を目的としている。

6 まとめ

本稿では、複雑な編集操作を行なうことなく各種の幾何制約を満たす図の描画を可能にする、対話的整形による 図形描画システムについて紹介した。この手法は、あらゆる種類の描画システムに応用可能であるが、特にペンを利用した電子黒板システムにおける数学や物理関係の図形描画に最適であると考えられる。今後は、曲線を組み込むなどのシステムの拡張を行ない、実際のアプリケーションにおいて本手法が有効に働くことを確認していく予定である。

参考文献

[1] 五十嵐 健夫, 河内谷 幸子, 松岡 聡, 田中 英彦, 「 制約を利用した対話的図形整形システム」, 情報処理学会シンポジウム インタラクション'97 予稿集, 1997, (in press).

[2] 河内谷 幸子, 五十嵐 健夫, 松岡 聡, 田中 英彦, 「 認知的負荷を軽減する描画方式の提案と実装」, インタラクティブシステムとソフトウェア IV, (WISS'96 予稿集), 1996, pp.71-80.

[3] Apte, A., Vo, V., and Kimura, T.D., "Recognizing Multistroke Geometric Shapes: An Experimental Evaluation," *Proc. of UIST'93*, pp. 121 - 128. 1993.

[4] Gross,M.D., Do,E.Y., "Ambiguous Intentions: A Paper-like Interface for Creative Design", *Proc. of UIST'96*, pp. 183-192, 1996.

[5] Pavlidis,T., VanWyk,C.J., "An Automatic Beautifier for Drawings and Illustrations", Computer Graphics, Vol.19, No.3, Proc. of SIGGRAPH '85 , pp. 225-234, 1985.