制約を利用した対話的図形整形システム

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

図形の描画は計算機の基本的な応用分野の一つであり、さまざまな手法が提案されてきており、また多くの製品が存在している。しかし、数多くの機能が付加されてきているにもかかわらず、実際の描画には依然として多くの時間と労力が必要とされる。我々はこの問題を、イメージとしての図形から描画システムの機能の組み合わせへの変換の負担と捉え、この負担からユーザを解放する描画システムを提案している [1]。本稿では、この描画システムについて技術的な側面から説明する。

2　対話的描画システム

従来の描画システムでは、線分間の垂直や平行、あるいは図形の形状の同一性や対称性といった制約は、ユーザの方でコピーや反転などの操作を組み合わせて使用することによってはじめて実現される。しかし、このような図形からコマンド操作への変換は特に初心者にとって困難であり、多くの時間を費やしたり、間違った操作の原因となる。例えば、図 1 に示した図形を描こうとする場合、既存の描画システムではグリッドを数える、回転機能を使用する、といった手書きの作業にはない不自然な操作を行なわなくてはならない。

そのため、我々はユーザの描いたフリーストロークから必要な制約を自動的に抽出し適用することによってユーザを以上のような複雑な操作系列から解放するシステムを提案する。このような方法をとることによって、ユーザは数多くの機能を理解し組み合わせて使用する必要がなくなり、操作ミスや操作方法の検討に消費される時間を減らし描画エディタの描画効率を大幅に改善することできる。

このシステムは基本的に整形システム [3] であるが、従来のものがバッチ的に整形処理を行なうのに対して対話的に作業が進められる点がことなっている。また、Newton などのペンシステムや一般のドローソフトの

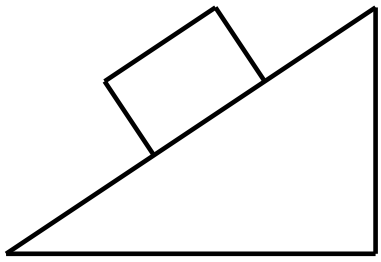

図 1: 従来の描画システムで描画困難な図形の例

フリーストローク整形モードに対しては、周囲の図形的制約を考慮して整形を行なう点がことなっている。また本システムは、制約ベースのシステム [2] においてユーザが明示的に示さなければならなかった制約を自動的に抽出するシステムとみることもできる。

具体的な例をあげると、図 2a のような入力があった場合に垂直や等長、接触などの制約が抽出され計算されることによって図 2b のような結果が得られる。画面上には充足された制約が視覚的にフィードバックされるので、確実に正確な図を描くことが可能である。

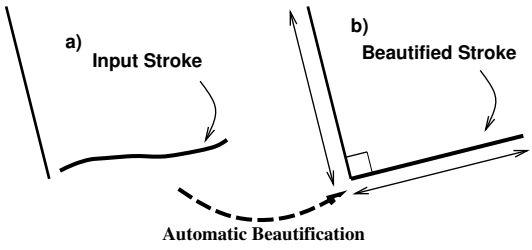

図 2: フリーストロークによる入力と自動整形

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 3a 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 3b 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。そこで本システムでは、複数の候補を自動生成しユーザに提示、そこから必要な図形を選択させる、という方法を用いている。このようにすることで、曖昧な入力に対しても頑健に対応することができ、描画作業をスムーズに行なうことができる。

---

* Interactive Diagram Beautification System based on Constraint Solving

Takeo Igarashi, †Sachiko Kawachiya, ‡Satoshi Matsuoka, Hidehiko Tanaka :
Dept. of Information Engineering, Univ. of Tokyo,
†Dept. of Information Science, Univ. of Tokyo,
‡Dept. of Mathematical and Computing Science, Tokyo Inst. of Tech.

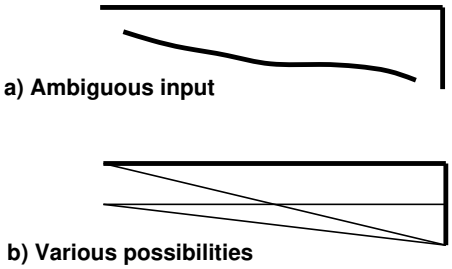

図 3: 入力ストロークの持つ曖昧性

複数候補の生成は次のようにして行なわれる。1) まず始めに入力ストロークと周囲の図形との位置関係から必要な制約を変数の値の関係式として取り出す。その際には、同時に満たされることのない互いに矛盾した制約も含まれる。2) 抽出された制約の集合の中から、互いに矛盾しない制約集合を取り出して組み合わせることを繰り返し、可能な解 (整形されたストローク) の全体集合を得る。3) 生成された解に対して、入力ストロークからの位置のずれや充足された制約を考慮した評価値を与え、基準点以下のものは却下し、 最高点のものを第一候補として出力する。

複数候補は、第一候補が気に入らない場合に図 4 のように画面上のスライダーを操作することで選択することができる。

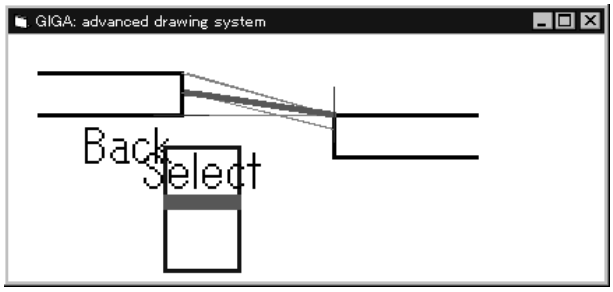

図 4: スライダーによる候補選択

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 (図 5)。

現在、扱える図形は直線のみであり、制約としては端点の水平垂直方向の座標の一致、端点と線分の接触、線分間の平行・垂直関係、線分の水平垂直方向に関する対称関係、平行線分間の幅の一致などが実装されている。

5 評価実験

簡単な評価実験として、図 1 に示す図形を Machintosh 上の 描画ソフトウェアである CANVAS (Deneva Soft. 社) と本システムを使用して描いた場合の描画時

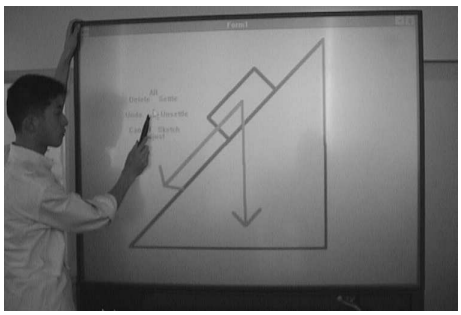

図 5: XEROX Liveboard での描画例

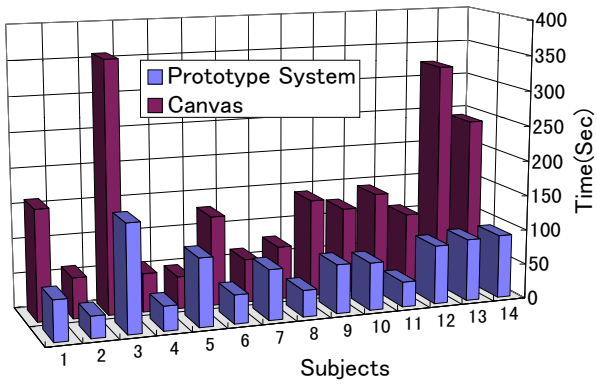

図 6: 実験結果: プロトタイプ上での描画では、CANVAS 上での描画に比較して 約 43% の時間で作業が終了している。

間を計測した。14 名の被験者についての結果を図 6 に示す。平均して 描画時間が 43 % に短縮された他、描画時間のばらつきが押えられ、効率的に描画がおこなわれていることがわかる。

6 まとめ

本システムは、手早く正確な図を描くことが可能であり、ペンを利用した電子黒板システムや電子手帳などでの図形描画に適すると考えられる。今後は認識系を改善し、より複雑な図形に対しても本システムが有効に働くことを示していく予定である。

参考文献

[1] 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」, *Proc.of WISS'96*, 1996, (in press).

[2] Nelson,G., "Juno, A Constraint-based Graphics System", Computer Graphics, Vol.19, No.3, Proc. of SIGGRAPH '85 , pp. 235-243, 1985.

[3] 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.