対話的整形と予測描画による幾何学的図形の高速描画

[1]五十嵐 健夫　[2]松岡 聡　[3]河内谷 幸子　[1]田中 英彦
[1]東京大学情報工学専攻, [2]東京工業大学数理･計算機科学専攻, [3]東京大学情報科学専攻
{takeo,tanaka}@mtl.t.u-tokyo.ac.jp, matsu@is.titech.ac.jp, sachiko@is.s.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

従来の計算機による図形描画システムは正確な図形の描画が可能な反面、図1のような図の正確な描画のためには複雑な図形編集コマンドを的確に組み合わせて使用していかなければならず、初心者が手早く図形を描くことは困難であった[2]。例えば、左右対称な図形を描くには、まず半分の図形を描いてそれを複製し反転･移動しなくてはならず、直角な直線を描くには複製して90度回転を行わなければならないなど、直感的とは言い難い操作が要求される。本稿では、このような問題を解消し計算機上で幾何学的図形を正確に手早く描くための手法として、対話的整形と予測描画機構について説明し、これらを実装したプロトタイプシステム Pegasus について紹介する。

2 対話的整形 [3]

対話的整形は基本的には手書きストロークの整形システムであり、以下のように動作する。まず、ユーザは描きたい線分の概形を手書きストロークで描く(図2a)。システムは入力されたストロークと周囲の図形との位置関係をもとに必要な幾何学的制約を自動的に推測する(図2b)。最後に推測された幾何学的制約を適切に組み合わせることにより整形を行い結果をユーザに返す(図2c)。このような手法を用いることにより、複雑な図形操作コマンドを利用することなく目的とする図形の概形を手書きで描いていくだけで正確な図形を描くことが可能となる。

しかし、手書きによる入力は本質的に曖昧であり認識誤りの問題が避けられない。そこで対話的整形では整形結果として複数の候補を自動的に生成して提示し(図2d)、ユーザによる選択を許すことによりこの問題を回避している。複数候補は、制約推測部で得られた制約集合の中から矛盾しないもの同士を適切に組み合わせて解いていくことによって生成され、ユーザの選択は希望する候補を直接タップすることで実現される。

Rapid Construction of Geometric Diagrams using Interactive Beautification and Predictive Drawing,
Takeo Igarashi (The Univ. of Tokyo),
Satoshi Matsuoka (Tokyo Inst. of Technology),
Sachiko Kawachiya (The Univ. of Tokyo),
Hidehiko Tanaka (The Univ. of Tokyo)

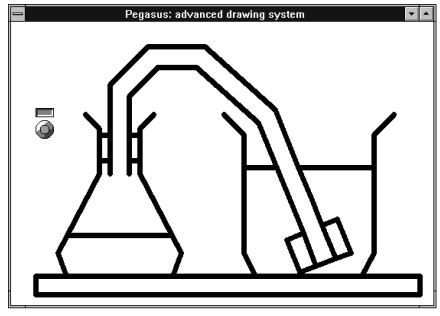

図1: プロトタイプシステム Pegasus の描画例

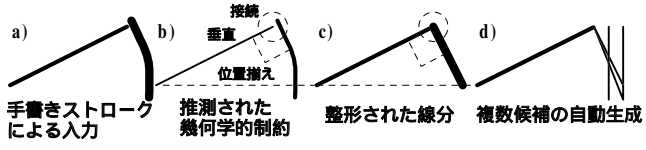

図2: 対話的整形の動作

3. 予測描画機構 [8]

図形描画を効率よく行おうとする場合、図形上に含まれる数多くの類似部分をいかに効率よく描画できるかが問題となる。従来の描画エディタにおいては、「複製」コマンドを使用して必要な部分を複製し、移動することで同一な形状をもつ構成要素を得ることができる。対話的整形においては、手書き図形の整形過程で類似部分と同一の図形を生成することにより、複製操作が*自動的に*実現される。

予測描画機構は、対話的整形に見られる暗黙的な複製支援機構を発展させ、より積極的に類似部分の生成過程を支援するものである。対話的整形によってユーザが描いた図形が既に描かれている図形要素と同一であった場合、システムは「新しく描いた図形の周囲にも、以前に描いた同一図形の周囲にあるものと同様な図形を描くに違いない」と予測し、自動的に予測描画候補を生成し提示する。

具体的には、現在実装されている予測描画機構は以下のようにして動作する (図3a)。

1. 対話的整形の結果として新しい線分 (起動セグメント) が確定すると、システムは画面中を走査して起動セグメントと同一形状の (傾きおよび長さが等しい) 線分 (参照セグメント) を探し出す。

2. システムは参照セグメントの周囲を調べて、参照セグメントと直接接している線分 (周辺セグメント) を選び出し、参照セグメントとの位置関係を記録する。
3. 最後に、起動セグメントの周囲に予測結果である予測セグメントが生成される。この時、起動セグメントと予測セグメントの間の位置関係が、参照セグメントと周辺セグメントの間の位置関係に対応するように生成が行われる。.

参照セグメントとして、起動セグメントを90度回転させたものや、左右上下に反転させたものを加えることにより、90度回転図形や左右上下反転図形の生成が予測される(図3b)。

もし、提示された予測候補中に気に入ったものがあれば、それをタップすることでその線分が選択され、確定される。さらに、システムはそのようにして確定された線分を新たな起動セグメントとして次の予測を行い予測描画候補を提示するため、予測が成功しつづけている限りにおいては、*欲しい線分を次々にタップしていくだけで、複雑な図形を描くことが可能*となる。予測が外れた場合には、タップする代わりに希望する線分の概形を手書きで描くだけで対話的整形プロセスへ自然に移行することが可能であり、余分なオーバーヘッドは最小限に押さえれらている。

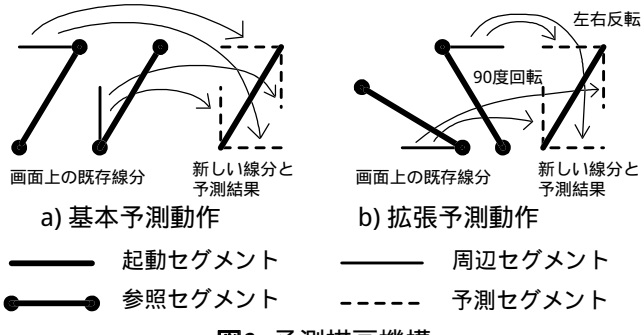

図3: 予測描画機構

3. 関連研究

Apple Newton のような既存の手書きによる図形描画システム では、端点の接続といった簡単な幾何学的制約の充足が実現されているが、平行や合同といった複雑な制約は実現されていない。これまでに提案された図形整形システム[7][5]は、基本的にバッチ的処理に基づくものであり、対話的整形に見られるような高度な対話性は実現されていない。図形要素間の幾何学的制約の自動的推測機構は[6][4]などに見られるが、主にまとまりのある図形オブジェクト間の配置を扱うものであり、本研究のように幾何学的な線画を扱うものではない。インタフェースにおける予測機構に関しては多くの研究が行われている[1]が、ほとんどがユーザの時間軸にそった操作履歴をもとに次の操作を予測するものであり、図形の空間的な規則性をもとに予測を行う本予測機構とは性格が異なる。

5. プロトタイプシステム Pegasus

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 上で動作する。入力デバイスとしてはマウスおよびスタイラスの双方が利用可能であるが、本手法は特にスタイラスとの相性の良い手法であり、各社のペンコンピュータや大型の電子黒板システムを利用して実験を行っている。現在幾何学的制約として、線分同士の接続、平行と垂直、短点の水平垂直方向への位置揃え、合同と左右上下方向の反転、および平行線分間の距離の一致などが実装されている。現在扱えるのは直線のみであるが、順次円や自由曲線を扱っていく予定である。

対話的整形については評価実験が行われており、一定の幾何学的図形の描画タスクを18人の被験者に行わせた結果、市販のCADシステムや描画システムを利用した場合に比べて操作速度および描画の正確さが共に大幅に改善されることを確認している[3]。

6. まとめ

計算機を利用した幾何学的図形描画の操作負担を減らす手法として対話的整形と予測描画を紹介した。対話的整形は手書きのストロークをもとに必要な幾何学的制約を抽出し整形を行い、予測描画機構はすでに描かれた図形と新しいストロークとの関係をもとに次の描画の予測を行う。これらの手法を利用したプロトタイプシステムが実装されており、幾何学的図形の正確かつ高速な描画が可能なことを確認している。

参考文献

1. Cypher,A. ed., Watch What I Do, Programming by Demonstration, The MIT Press, 1993.
2. Igarashi,T., Kawachiya,S., Matsuoka,S., Tanaka,H., In Search for an Ideal Computer-Assisted Drawing System, in *Proceedings of INTERACT '97*, 104-111, 1997.
3. Igarashi,T., Matsuoka,S., Kawachiya,S., Tanaka,H., Interactive Beautification: A Technique for Rapid Geometric Design, in *Proceedings of UIST '97*, 105-114, 1997.
4. Karsenty,S., Landay,J.A., Weikart,C., Inferring graphical constraints with Rockit, in *Proc. of HCI '92*, 137-153, 1992.
5. Kurlander,D., Feiner,S., Interactive Constraint-Based Search and Replace, in *Proceedings of CHI '92*, 606-618, 1992.
6. Maulsby,D.L., Witten,I.H, Kittlitz,K.A., Metamouse: Specifying Graphical Procedures by Example, in *Computer Graphics*, Vol.23, No.3, 127-136, 1989.
7. Pavlidis,T., VanWyk,C.J., An Automatic Beautifier for Drawings and Illustrations, *Computer Graphics*, Vol.19, No.3, 225-234, 1985.
8. 五十嵐 健夫、 松岡 聡、 田中 英彦、 図形の空間的な位置関係に基づく描画の予測機構、インタラクティブシステムとソフトウェア V, 181-190, 1997.