

複数の入出力デバイスを選択できる図形描画清書システム

河内谷幸子 米澤明憲
東京大学大学院理学系研究科情報科学専攻
〒113 文京区本郷 7-3-1

従来の図形描画システムはマウス入力がほとんどである。このようなシステムを利用する際、電子ペンを利用した方が効率的であったり、紙と筆記用具による入力の必要性が生じたりする。本稿では複数の入出力の特徴を活かすために、TPO や好みに応じてこれらの入出力デバイスを切り替えて使用でき、描画機能と消書機能の両方を持つシステムを提案する。本システムの特徴は、幾何拘束等の制約情報を持った図形データ構造をすべての入出力デバイスに対して統一的使用している点にある。筆記用具や電子ペン入力時には、制約は入力画像にマーク（制約マーク）として付与され、マークが認識された後、制約解消系によって解かれる。制約の利用により、図形認識が簡単な方式で済み、紙からの入力および紙を介した編集が容易になるだけでなく、段階的詳細化や消書機能を持つユーザフレンドリーな図形描画清書システムを構成することができる。

An Integrated Drawing and Beautifying System which has Freedom of Selecting Input/Output Devices

Sachiko Kawachiya and Akinori Yonezawa
Department of Information Science,
Faculty of Science,
The University of Tokyo,
7-3-1, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113 Japan

Most of existing drawing systems adopt only a mouse for input device of drawing figures. However, some users wish to use an electronic pen with a panel or a pencil with papers. This paper analyzes characteristics of those input/output devices and proposes a drawing and beautifier system in which the user could select favorite devices according to his situation. In the system constraint-marks can be added to primitives in input-image-data by pencils or electronic pens. Recognized constraint-marks are solved by constraint-solver. The constraint-marks not only improve the pattern recognition of existing beautifier systems but also offer users to reflect their intention on drawing works.

1 はじめに

既存の図形描画システムは入力方法が1種類に限られており、多くはマウス入力である。マウス入力による図形描画システムに充分満足しているユーザが多一方で、電子ペン入力や紙に書いた図形による入力をしたい、既存の紙図面を部分修正したい、FAX出力の紙面に書かれた画像データを使いたい、というユーザも存在する。また、デザインの初期段階にはラフスケッチに適した紙と筆記用具による図形入力をりたいが、デザインの中期では電子ペン操作、デザインの後期にはマウスで操作したい、というように作業段階に応じて入出力デバイスの切り替えを望む声もある。

本稿ではTPOやユーザの好みに応じて複数の入出力デバイスを切り替えて使うことが可能な「マルチウェイ・ユーザ・インタフェース」およびマルチウェイ・ユーザ・インタフェースを持つ図形描画清書システムを提案する。

ここで重要となるのは手書きの図形データを認識して、マウスで書かれた図形と同じ構造のグラフィックデータへと変換する処理である。これまでも手書き図形を認識する「清書システム」の研究が行われてきたが、図形認識は難しくシステムのネックとなる部分であった。例えば地図上の線路図はマウスで書くよりもペンで書いた方が効率的な図形であるが従来の清書システムでは認識率が低かった。また、円弧のように、マウスではじめから半径や中心を既知のものとして描くのも難しく、ペンによる手書きによっても正確に書きにくく認識が困難な図形要素が多く存在する。そこで本稿では図形要素に対してユーザの意図を制約マークとして付与し、マーク認識と制約解消により図形の形状認識を補助する方式を新しく提案する。この方式により、紙や電子ペンを使った図形入力の認識が容易になり、紙と筆記用具、電子ペンと電子パネル、マウスと電子画面といった入出力デバイスを統合する図形描画清書システムの実現が可能になる。

2 複数入力の必要性

1種類の入出力では不十分である場合を整理すると次のようになる。

1. デザインの段階的詳細化

描画デザインを行なう際、初期段階はラフに行かない、次第に詳細化していくことが重要である。従来の描画システムは描画当初から細部の詳細な情報が必要であった。初期にラフスケッチを用いると初期段階だけでなく全段階の作業効率が向上するという報告もある[1]。段階的なデザインを支援するには初期には紙と筆記用具を用いてラフスケッチを行ない、中期には電子ペンと

電子パネルを用いて筆記用具とマウスの中間的な作業を行ない、後期にはマウスによるメニュー選択で確定的な設計を行なうことが望ましいと考える。

2. デバイスの特徴利用

各デバイスの長所を活かし、短所を克服するようにシステムを構築することが作業効率の向上や使いやすさに強い影響を及ぼす。各デバイスの長所・短所を分析すると次のようになる。

紙と筆記用具の長所 ラフスケッチが簡単、書き始めの心理的障壁が低い、初心者でも馴染みやすい、スキャナでまとめて入力可能、コンピュータがない場所でもデータ作成可能、FAXを利用可能、消去操作が簡易(特に鉛筆の場合)。。

紙と筆記用具の短所 規則的な図形の入力が困難、スキャナ入力は基本的に画像データであるために、高次データに翻訳するために図形認識が必要、インタラクティブ性が低い、一度書いた図形の編集が困難。

電子ペンの長所 マウスより細かい作業が可能、マウスほど使用場所が限定されない、インタラクティブである。

電子ペンの短所 鉛筆より使用場所を限定される、マウスより手が疲れる。

マウスの長所 インタラクティブである。

マウスの短所 細かい図形描画には不向き、使用場所が限定される、基本的に位置指定とメニュー選択以外の入力ができない。

3. ユーザの好み

使いやすさにはユーザ個人の主観的な要素が大きいため、好きな入出力デバイスを自由に選択できることが非常に重要である。

3 システム構成と清書機能

3.1 全体の構成

紙と筆記用具、電子ペンと電子パネル、マウスと電子画面という3つの入出力デバイスを用いて、制約情報の付加された図形データを扱う描画システムの構成図を図1に示す。図形データは点、線分、円弧、円といった図形要素の情報と図形要素間の制約情報から構成される。紙と筆記用具、ペンとパネルからは一時的な中間形式として画像データ(イメージデータ)を介して、データがシステムに入力される。この低次の画像データは後に述べる清書機能と認識機能によって、高次の図形データへ変換される。ペンとパネルはマウ

ストと同じように直接図形データをメニュー選択によって入力することもできる。この高次の図形データを3組の入出力デバイス間で統一的に用いることにより、これらの入出力デバイスを自由に切り替えて利用することが（場合によっては併用することも）可能である。また、図形データに対しても付加的に清書機能を適用することにより、段階的詳細化や幾何拘束を満たした図形描画が可能となる。

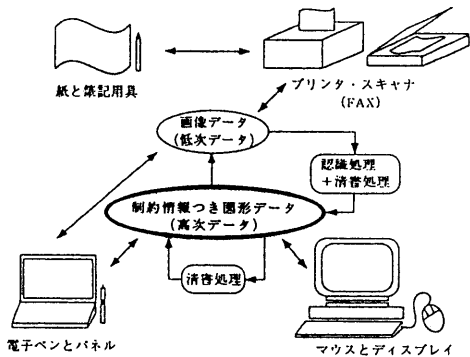


図1 システム構成

3.2 清書機能

清書機能の処理の流れを図2に示す。清書機能において重要なのは、線路図のようにユーザの意図が明確であるにもかかわらず描画の難しい図形要素に対して、制約マークを付与することにより、ユーザの意図を書き込むことができるように設計した点である。

まず図2 (a)のように手書き図形を書く。次に図2 (b)のように制約マークを書き込む。この時電子ペンならペンの横にあるボタン（マウスの右ボタンにあたる）を押しながら、紙面の場合は別の色を用いて書き、図形とマークのモードをきりかえる。この図形は図2 (c)のように計算機の中で分離、認識される。マークから抽出される制約情報は制約解消系によって解かれる。ユーザが複数のマークにより、矛盾する事柄を記入することも予想できるが、優先度を利用した制約解消系によってこのような矛盾も処理される。こうして清書されたものが図2 (d)であり、この段階における図形データはすべてマウスで操作されるデータと同じ構造を持つ高次の図形データであるため、マウスによる従来の操作で修正することができる。また、これらの制約マークは省略することもできる。省略時には図形要素が従来の図形認識手法で直接認識される。

以下、3.2.1～3.2.6で清書機能に関して述べる。

3.2.1 制約マークの設計

まず基本的な幾何制約として必要十分な種類が必要であるが、これに関しては文献 [2] を参考にして幾何制約の種類を決定した。

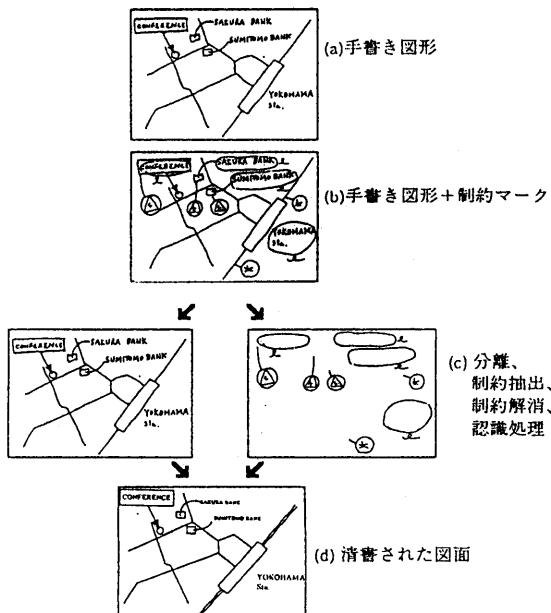


図2 清書処理

(1) 幾何制約マーク		(2) 高レベル制約マーク	
1 直線		14 道路	
2 三角形		15 線路	
3 長方形		16 橋	
4 円		17 立体交差	
5 円弧		18 駅	
6 2線が交差する		19 線の太さ	
7 2線が接する		(3) その他	
8 2線が離れる		20 文字認識	
9 2線が等長			
10 2線が平行			
11 2線が垂直			
12 交差角			
13 接線			

凡例

— 図形スケッチ

— 制約マーク

図3 制約マーク

また、線路図のように図面の種類に依存する特定の構造を持った図形のための制約として、高レベル制約を設けた。後者はユーザがマクロ定義できるものである。

制約マークは次のような方針で設計した。

- (1) マークとその意味の間に違和感がないようにする。
- (2) 書きにくい形状は避ける。
- (3) 画像処理の見地から、なるべく認識しやすい形状にする。

制約マークの一覧を図3に示す。

図には示していないが、数字の認識によって長さや角度の明示的指定および制約情報の優先度の指定も可能である。

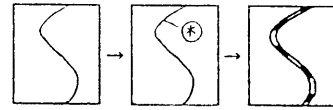
3.2.2 制約マークつき消書機能の利点

従来の描画システムでマウスを使って書くことが困難であり、手書きの方が速く書ける図形の例として線路図をあげてきた。しかし、手書きにおいても線路図をきれいに描くことは困難であり、従来の消書システムによる手書き線路図の完全な認識は容易ではない。本システムでは、ユーザは単に曲線を描き、線路の制約マークを1つ書き込むだけで済み、描画も簡易でかつ高い認識率で線路としての入力が可能である。例えば、図4(a)のような線路を従来の描画ソフトで描くのは難しい作業である。また、このような曲がった線路を正しく認識させるのも時間のかかる認識処理が必要になる。制約マークにより描画作業効率も認識時間も向上するのである。制約マークは、このようにマウスで書くより鉛筆でスケッチした方が有効であるような、幾何学的制約を持つ形状を効率的に消書させることができる。

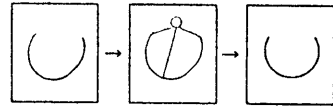
制約マークは正確な描画が困難な形状の認識を助ける役割を果たす。すなわち、認識が困難な図形に対して認識の容易なマークを付与したり補助的な点を指示することで、認識率を向上させることができる。図4(b)は円弧の例である。円弧を正確にスケッチするのはユーザの技術が必要であるが、かなり正確に書かなければ正しく認識されない。図4(b)の最左図のような手書きの円弧はほとんど認識されない。ところが円弧のスケッチの横に簡単に書けて認識率の高いマークを付与し、通るべき円弧上の点を指示することにより正しく円弧として認識される。

さらに制約マークは段階的詳細化を可能にする。前出の円弧の例で説明すると、通るべき円弧上の点を他の図形要素との幾何的拘束によって指定することが制約マークによって可能である。このため、円弧の半径や中心の位置が確定してなくても描画することができる。現在の円弧の描画サイズまたは位置が、後から描

かれた図形要素や後から指定された制約によって不都合になれば、制約を満たすように再描画される。



(a) 線路



(b) 円弧

図4 制約マークつき消書の利点

また、制約マークがある程度限られた場所に限られた大きさで書かれるということは認識処理上重要な利点である。例えば前節で説明した図3の中で平行線や交差のマークは図形の形状とマークの形状がほぼ同じであるが、マークの場合は囲みマークの中に書かれているため、ランダムに現れる図形より認識率と認識時間が向上する。

このように制約マークはユーザの意図をそのまま書き込み、図形要素の認識率の向上および描画コストの削減を可能にする。

3.2.3 制約マークの認識

まず図形と制約マークの分離であるが、これは3.2冒頭で述べたように別のモードで入力されるのであらかじめ分離されている。

制約マークの画像認識は次のようなステップで行なわれる。既存の画像処理技術を利用する部分は文献紹介にとどめ詳述を割愛する。

STEP 1 外側の囲みマークと内側のマーク自身の分離。これは囲みマークの外側を塗りつぶし [12] できることから、逆に囲みマークの内側を、内側のマークを無視して全部塗りつぶすことができる。塗りつぶされた制約マークに対して境界線追跡 [12] を行なう。もとの入力画像の連結成分を調べ [12]、制約マークの境界線と連結しない部分が内側のマークとして抽出できる。

STEP 2 内側のマークの認識。形状の外接矩形をもとめ、この矩形を縦2×横3に等分し、各領域の濃度確率のマッチングをとる方法 [11] を用いる。

STEP 3 制約マークの指示する図形上の点の抽出とその図形要素の分離。すなわち制約マークの省

略された図形要素と制約マークのついた図形要素の分離。制約マークの端点と接触する点を抽出し、それと連結する図形要素を分離する。

3.2.4 制約マークが省略された図形の認識

制約マークで紙上の図面が複雑になることを防ぐため、また認識の容易な図形要素にまで制約マークを付加する手間を省略するために、制約マークは省略することが可能である。その場合は従来の消書システムと同様に図形認識しなければならない。我々は線分や円の認識によく用いられる Hough 変換 [12] を用いる。認識結果は制約マークと同型式の制約情報に変換され、制約マークのついた図形要素から得られた制約情報とともに制約解消系へ送られる。なお、制約マーク以外から得られた制約情報は優先度が最も低いものとして扱われる。

3.2.5 制約解消

幾何制約解消のアルゴリズムを簡単に述べる。原画像から抽出された図形要素の点を p_1, p_2, \dots, p_n とし（厳密には各点は x, y の 2 パラメータから成る）、制約情報をこれらの点に関して制約を満たす場合のみ 0 になる評価関数に翻訳して、 f_1, f_2, \dots, f_m とする。このとき

$$\forall k f_k(q_1, q_2, \dots, q_n) = 0$$

となる点

$$q_1, q_2, \dots, q_n$$

を原画像の座標 p_1, p_2, \dots, p_n を初期値として用いた Newton 法により求める。

Newton 法を用いる前に解の自由度等から明らかに条件過剰と判断される、条件式は優先度の低いものから除外していく。また、Newton 法を実行しても解が収束しない場合は優先度の低い制約条件式から除外していき、解が収束するように制約条件式 $f_k = 0$ の組合せを調節する。

3.2.6 インタラクティブ操作

紙と筆記用具を使った場合のインタラクティブな修正操作には課題がある。

修正を行なった図面には修正部分のみ認識できるようにすることで大幅に認識処理時間を節約できるため、修正部分だけを抽出することが第一の課題である。最も簡単な方法は別の色で描画することである。すなわち、修正前の図形の色を A 色とすれば、修正前の制約マークの色を B 色（図形との区別を明確化するため）、修正図形に C 色、それに付与する制約マークに D 色を用いるという方法である。しかし、色の重なりによる誤認識、多くの修正マークによる図面の複雑さ、修正図形を前回描画時と異なる色で書くことに対するユー

ザの違和感や前回描画時の図形との接続の悪さ、多くの色鉛筆は黒色鉛筆のように消せないなどの理由から、多色方式による紙上の修正操作には問題が多いと考える。そこで網点訂正用紙方式 [11] により修正を行うことにする。

網点訂正用紙は修正したい図面の画素をまびきしうすく表示したものである。訂正用紙上の点は 1 画素の孤立点で大きさはおよそ 0.125mm である。これに対して人間が筆記用具で書く線はシャープペンシルの精度が 0.5mm であるなど、3~4 画素以上の塊である。このような特徴を利用して画像処理により修正部分を抽出することができ、そのアルゴリズムは高速である。しかも何回めの修正でも初回描画時と同一の筆記用具が利用できる。しかも、網点訂正用紙を用いれば前回画像は薄く描画されるので、人間にとっても煩わしくなく、また画像認識処理にとってはまったく障害とならない。

図 5 は網点訂正用紙を利用した画像編集システム HIDES のサンプル出力結果である。

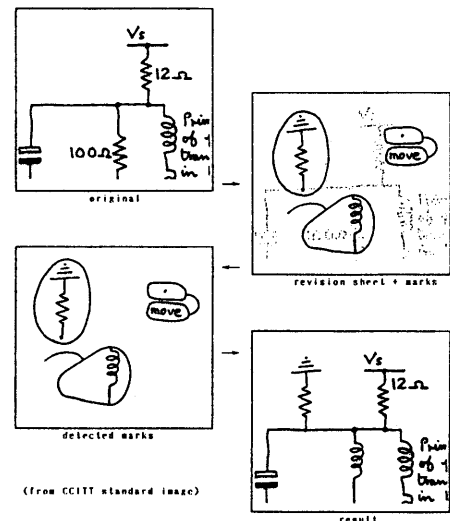


図 5 網点訂正用紙方式（出典：文献 [11]）

4 関連研究

消書システムの研究は図形の消書 [5][8]、図面の認識 [9][10][11]、データベースの問い合わせに紙を使う例をあげて「ペーパー・ユーザ・インタフェース」を提唱するもの [13][14]、がある。

ペン・インタフェースの研究も多いがペンによりウインドウやスクロールバーをスケッチしてユーザインタフェースそのものを構築する研究 [1] は興味深い。

制約を用いた描画システムおよびその制約解消に関する研究には GARNET[6] や TRIP[7] があり、ここでの制約はトポロジーが中心である。CAD システムにおいても制約の研究 [2][3][4] がある。

制約マークを用いて消書システムと描画システムを統合し、複数の入出力デバイスを切り替えて作業できるシステムは存在しない。

5 プロトタイプ

本研究のプロトタイプとして紙とマウスを統合した図形描画消書システムの開発を行っている。このシステムの開発環境は Sun SPARCstation20 (CPU: SuperSPARC-II, SPECint92: 125.8, SPECfp92: 121.2) 上で C 言語を用いている。スキャナは Canon PIXEL JET で解像度 400dpi、画像形式は pgm 形式である。ベースとなる描画システムおよび図形データ形式として Lawrence Berkeley Laboratory の B. Smith が開発した xfig システムおよび xfig のデータ構造を使用し、図形要素間の制約情報を付加したデータ構造を扱えるように改造している。また、制約マーク省略時の図形認識には Lappeenranta Univ. of Technology の H. Kalviainen らの開発した xthoughtool を用いている。

ペンについては IBM の ThinkPad360P 上で別個に開発を進めているが、いずれは Sun WS にペンを導入、かつ/または、ThinkPad360P にスキャナをつけて、三種類のデバイスを統合したシステムを開発する予定である。

6 おわりに

ユーザが TOP や好みに応じて入出力デバイスを切り替えて計算機を利用できるマルチウエイ・ユーザ・インタフェースを提案した。また、マルチウエイ・ユーザ・インタフェースに基づく描画消書システムを提案し、その実現のために有効な技術として、制約マークの設計・制約解消などについて述べた。

今後の予定は、まずプロトタイプの高速度化とシステムとしての完成度を高めていく。次にシステムとしての評価を行っていきたい。評価方法については、各社の出しているスタイルガイドや、発話プロコル分析、GOMS[15] のようなユーザ解析モデル、チェックリスト方式 [16]、などを参考にして検討する予定である。

謝辞 本研究に関して貴重なご意見を下さった東京大学理学部情報科学科の松本尚助手に感謝する。

文献

[1] J. A. Landay and B. A. Myers, "Interactive Sketching for the Early Stage of User Interface Design," Proc. of ACM SIGCHI'95, pp43-50, 1995.

- [2] B. Aldefeld, "Variation of Geometries Based on a Geometric-Reasoning Method," Computer Aided Design, 20(3), pp. 117-126, 1988.
- [3] R. A. Light and D. C. Gossard, "Modification of Geometric Models through Variational Geometry," Computer Aided Design, 14(4), pp. 209-214, 1982.
- [4] J. C. Owen, "Algebraic Solution for Geometry from Dimensional Constraints," Proc. of Symposium on Solid Modeling Foundations and CAD/CAM Applications, ACM press 1991.
- [5] I. E. Sutherland, "Sketchpad: A Man-machine Graphical Communication System," in 1963 Spring Joint Computer Conference, 23, pp. 329-346, 1963, reprinted in Interactive Computer Graphics, H. Freeman, ed., IEEE Computer Soc., pp. 1-19, 1980.
- [6] B. A. Myers, D. A. Giuse and B. V. Zanden, "Declarative Programming in a prototype instance system: Object-Oriented programming without writing methods," Proc. of the ACM Conference on Object-Oriented Programming Systems, Languages, and Applications, pp184-200, 1992.
- [7] T. Kamada and S. Kawai, "A General Framework for Visualizing Abstract Objects and Relations," ACM Transaction on Graphics, 10(1), pp.1-39, 1991.
- [8] T. Pavlidis, C. J. Van Wyk, "An Automatic Beautifier for Drawings and Illustrations," Proc. of SIGGRAPH'85, ACM Computer Graphics, 19(3), pp. 225-234, 1985.
- [9] 林行剛、美濃 博彦、坂井 利之, "色マーク手書き記入による図面の自動編集・校正," 情報処理学会論文誌, 26(4), pp. 740-747, 1985.
- [10] 末永 康仁, "文書・画像の編集と作成," 電子情報通信学会論文誌, J68-D(4), pp.456-465, 1985.
- [11] 河内谷 幸子, "網点訂正用紙を用いた図面・文書画像の編集," 電子情報通信学会論文誌, J75-D-II(4), pp.728-735, 1992.
- [12] 田村 秀行, "コンピュータ画像処理入門," 総研出版, 1985.
- [13] W. Johnson, H. Jelinec, and S. K. Card, "Bridging the Paper and Electronic Worlds: The Paper User Interface," Proc. of ACM INTERCHI'93, pp. 507-512, 1993.
- [14] R. Rao, S. K. Card, and W. Johnson, "Protofoil: Storing and Finding the Information Worker's Paper Documents in an Electronic File Cabinet," Proc. of ACM SIGCHI'94, pp. 180-185, 1994.
- [15] S. K. Card, T. P. Moran and A. Newell, "The Psychology of Human-Computer Interaction," Lawrence Erlbaum Associates, New Jersey, 1983.
- [16] 加藤、堀江、小川、木村, "HI チェックリストとそのユーザビリティ評価," 情報処理学会 HI 研究会, 50-3, 1993.