
ペン入力指向の図形整形インタフェースと教育ソフトへの応用

Pen-based user interfaces for figure beautification and their application to educational software.

加藤直樹 中川正樹 *

Summary. This paper describes the detailed designs of two pen-based interaction methods for figure beautification and presents the development of educational software using these methods.

One method called as ‘marking gestures’ is that user can instruct to beautify figures by drawing marks indicating beautified figure condition. Selection of objects and designation of beautification type can be instructed by drawing marks at the same time, therefore the cost of operation get fewer and it does not need menu selection unsuited for pen. The other method is that user can adjust a value by dragging from the top of the displayed numeral. Drag of a short distance is convenient for pen, and it does not need to click a button control repeatedly. Our designing works went into details in order to implement these methods.

Moreover, we developed educational software for teaching and learning the properties of triangle as an example to introduce our methods. This software makes it easy to teach and learn about triangle, for example the sum of three interior angles, the requirements for an isosceles triangle and etc, because changing the shape of triangle can be instructed freely and easily by the above interaction method.

1 はじめに

ペン入力を採用した携帯型情報機器の普及や、ペン入力タブレットの性能向上、低価格化に伴って、スタイラス(ペン)でコンピュータへの入力を行うペンユーザインタフェースの認知度が上がっている。ペン入力の最大の特長は、紙に描くように文字や図形を手書きで描け、それをコンピュータへの入力とできる点である。この点を生かし、様々な入力、編集インタフェースが提案、研究されている。ペン入力を指向した作図インタフェースに着目してみると、Kurtenbachらの基本編集方法[1]、Baudelや松田らの自由曲線整形方法[2,3]、五十嵐らの描画方法[4]などがある。ここで、線分を平行にしたり、角度を直角にしたりする幾何図形の整形方法は SketchPad[5]が実装している。SketchPadでは整形したい部分を指し示し、整形の種類をボタンを押すことで整形を指示する。入力デバイスとしてライトペンを採用しているが、この対話技法は書く道具であるペンの利点を生かしているとは言えない。我々は、等長や等角を意味する記号、または数値を直接図形上に描くことで整形を指示する対話技法が、最もペン入力に適していると考え(図1)。この対話技法は児島[6]が提案しているが、設

* Naoki Kato and Masaki Nakagawa, 東京農工大学 工学部 情報コミュニケーション工学科

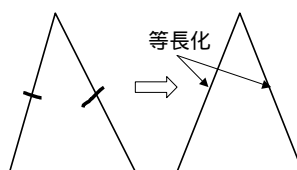


図 1. 記号を描くことによる図形整形の指示

計と実現の報告はない。そこで本稿では、この対話技法を実装するにあたって行った詳細設計を述べる。また、数値属性を変化させるペン入力指向対話技法を提案する。

これらの対話技法を利用するアプリケーションソフトウェア(ソフト)としては、まず作図ソフトが挙げられる。これ以外には、三角形の内角和や平行四辺形と長方形の関係といった図形の性質を教えるための教育用ソフトが考えられる。通常の一斉授業において図形の性質を教える場合、様々な状態の図形を何度も描かなければならず大変である。また、図形を変形させながら性質を説明することはさらに難しい。これら是对話型電子白板[7]上で、図形を表示し変形することが可能なソフトを動かすことで解決できる。しかし、従来のマウス利用を前提とした作図ソフトは、ペンでは操作が難しい危険性があること、メニューによる図形操作は直接的でなく、生徒からは分かり辛いことなど問題がある。そこで我々は、先の対話技法を適用することを試みた。図形の変形を図形の性質を示す記号を描くことで行えるため、操作そのものが教育に必要な動作となる。本稿では、教育的な効果をあげるための機能の設計と共に、このソフトの実現について述べる。

2 ペン入力指向の図形整形インタフェース

2.1 マーキングジェスチャ

等長や等角を意味する記号、または、角度や辺長を表す数値を直接図形上に描く対話技法は、ペンユーザインタフェース独特の対話技法であるペンジェスチャの一種であり、また、整形後の図形の形状を意味する記号(マーク)を描くことからマーキングジェスチャ(MG: Marking Gestures)と呼ぶことにする(図2)。

SketchPadをはじめ既存の作図ソフトでは、整形の対象と種類の指示は別々に行うのが一般的であるが、MGはこれらを一括して指示できる利点がある。また、ペンジェスチャにはその形状を覚えきれないという問題点があるが、MGでは整形後の図形の形状を表現する一般的な記号を描けばよく、直感的で覚えやすいためこの問題の影響は少ない。さらに、数値属性の入力も手書きで数字を書くだけでよいので、マウスユーザインタフェースの問題であったキーボードへのデバイス切り替えが必要ない。

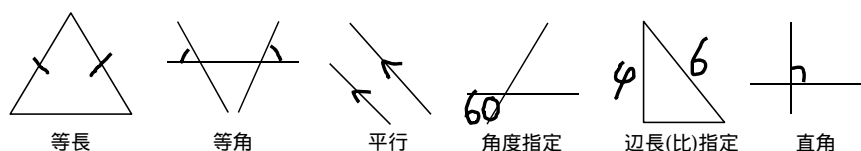


図 2. マーキングジェスチャの例

2.2 ペンの引きずり動作による数値変更

既存の作図ソフトで数値属性の変更を行う場合、ダイアログボックスを通して、キーボードから直接数値を入力するか、値を変化させるボタンやスライダを利用する。ダイアログボックスの出現には一操作が必要である。また、ボタンによる数値増減はクリックを繰り返さなければならないこと、ボタンやスライダのハンドルは一般的に小さいことから、ペンによる操作には向かない。

我々の研究室では、数値を増減するためのボタンを押したままペンを引きずる(ドラッグ)と、その移動距離に応じて数値が変化する対話技法を過去に提案した[8]。短距離のドラッグはペンに向き、二点目の問題を解決できる。ここでは、残る問題点を解決するために、ボタン上ではなく、数値上から引きずることができる拡張を提案する。ボタンの表示が必要なく、数値を図形と共に表示することも可能になり、変更時にダイアログボックスを出す必要がなくなる。また、ダイアログボックスを介するとしても、ボタンやスライダを表示しないで済む分、数値自体を大きく表示でき、操作性も向上できる。なお、数値の微調整のために、数値が表示されている領域の上半分、または、下半分をペンタップ(クリック)すると単純に増減できるようにする。

2.3 実装のための詳細設計

2.3.1 制約の利用と明示

三角形を直角二等辺三角形にするには、二辺の等長化と、その間の角の直角化か、それ以外の角を45度にする。このとき、それぞれの条件を順次指示でき、指示のたびに整形が行われるのが自然である(図3)。複雑な整形を行う場合、一度にすべての条件を考えることは難しいことから、整形の様子を見ながら複数回に分けて指示できるべきである。このためには、指示された条件をすべて保存しておき、常にその条件が保たれるようにする必要がある。この方式は図形制約(constraint)と呼ばれ、SketchPadを始め、市販されている作図ソフトでも採用しているものがある。

制約を利用した場合、既にどのような制約が設定されているのかが分かりにくいという問題がある。そこで、MGとして描いた記号を整形後も表示することにする。

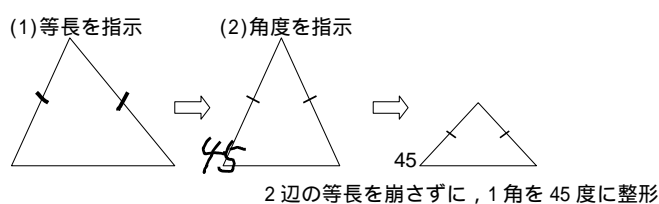


図3. 二つの条件からなる整形の指示と実行方法

2.3.2 等状態を指示する記号の拡張

一つの角が直角な四角形を長方形にするためには、対辺ごと二組の辺を等長にする。しかし、両組の辺に等長記号を描いた場合、制約を利用したため、すべての辺の長さが等しくなり、正方形になってしまう(図4左)。このような場合、数学では等長線の本数を変えることが多い。そこで、この例にならって、等長記号や等角記号のよう

に複数の対象を等状態にする MG は、一つの対象に複数回描けるようにし、同じ回数（次数）描かれた対象同士の状態を同じになるように整形する（図 4 右）。

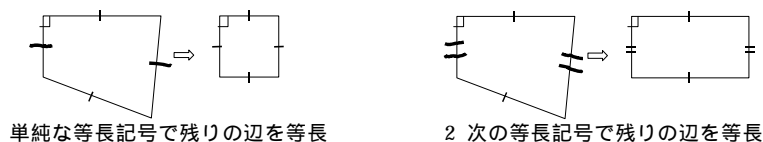


図 4. 二組の辺をそれぞれ等長にする整形

2.3.3 整形実行のタイミング

筆跡群の入力中に、いつ整形を実行するかという検討事項がある。1本の筆跡（ストローク）が描かれるたびにそれを MG として認識実行することもできるが、数値や前項で採用した複次の等長記号のように複数ストロークのものもあるため、この方法は採用できない（図 5）。ボタンを押すなど明示的に実行を指示する方法もあるが、操作の手数が増え、また書く動作だけで操作できなくなる。そこで、MG が入力された後、ある一定時間入力がないとき、MG を認識し、整形を実行することにする。

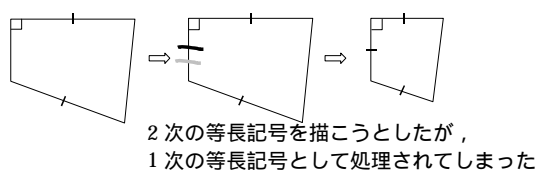


図 5. 整形を 1 ストロークごとに実行するときの問題点例

3 アプリケーションソフトウェアの実現

ここでは、前述した対話技法の実装例として実現した図形の性質の教育を支援するソフトについて述べる。

3.1 機能設計

基本的な編集操作として、図形自体の移動と特徴点の移動を可能とする。図形の特徴点とは、図形の頂点や端点、円の中心点などである。特徴点の移動が指示された場合も、それまでに設定された条件を満たすように変形する。条件を満たさない移動の場合は、その指示は無視する。

整形の実行時には、整形前の状態から整形後の状態へ連続的に変化過程を表示する。この表示によって、単に操作者だけでなく、教師が操作しているのを生徒が見ている場合には、生徒も教師がどのように図形を変化させているかが確認しやすくなる。

多角形を変形させ内角の和が常に同じであることを示したい場合、すべての角の角度を表示させたい。逆に、内角の和がどのような値であるかを生徒が理解しているか確認するためには、1 角だけ非表示にし、その角度を生徒に解答させ、正しいかどうかを確認できるようにしたい。そこで、数値属性は常時表示するか、角度の指定が

行われた場合だけ表示するかを選択できるようにする。ある角度が他の条件によって一意に決まっている場合に、指定されたときだけ表示するようにしておくことで、その角度を指定すると、正解ならば表示され、不正解ならば表示されない効果が得られる（図6）。

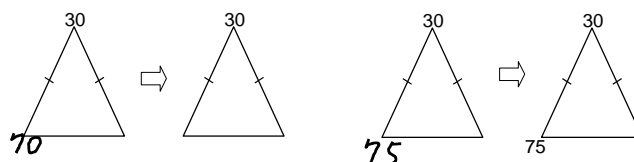


図6. 一意に決定している角度に対して値を指示したときの効果

3.2 ユーザインタフェース設計

このソフトでは、入力の種類として最低でも、図形入力、移動などの基本的な図形編集、MGによる整形、ペンの引きずりによる数値変更の4種類があり、ペンによる入力がどの入力であるかを区別しなければならない。しかし、ボタンによるモード切り替えは2.3.3と同じ理由で避けたい。そこで、位置で判別できるものは位置で区別し、それが難しいところにはペンの停留[9]を採用する。具体的には、特徴点付近からドラッグを行うと頂点移動、図形の内部でペンの停留をすると図形自体の移動モードへの移行、表示されている数値上でペンの停留をすると数値変更モードへの移行、それ以外は図形の入力かマーキングジェスチャの入力とする。他モードへ移行した後は、そのままペン先を引きずることで、図形の移動や数値の変更が行える。

引きずり動作が頂点移動と図形またはMG入力のどちらになるのかが明確になるように、カーソルの形を変化させる。また、ペンの停留をしているとき、モードが変わったことがわかるように、図形移動の場合は図形の表示色を、数値変更の場合は数値の表示色を変化させる。

3.3 実現

今回、小学校算数で多く取り上げられる三角形を扱うことができ、二等辺三角形の条件や、内角和などの教育を支援するソフトの実現を試みた。画面に表示される三角形は一つだけで、実装したMGは、等長、等角、直角、3角の内角度、辺長比の5種類である。また、一般的な制約解決エンジンは利用せず、正三角形、角度固定二等辺三角形、二等辺三角形、3角度固定、2辺長比固定、2辺長比1角度固定、2角度固定、2辺長比固定、1角度固定、条件なしのどの状態にいるかを常に監視し、入力された条件が適用可能かを判別し、可能ならば状態を変更するという手順を繰り返すことで、制約を解決する手法をとった。なお、実装を簡単にするために、底辺は水平とした。また、制約解決による図形変形時には、底辺の対となる特徴点（頂点）を優先的に移動させるようにした。

4 おわりに

本稿では、幾何図形のペン入力指向編集インタフェースとして、等長や等角を意味する記号、または、角度や辺長を表す数値を直接図形上に描くことで整形を指示す

るマーキングジェスチャと、表示されている数値の上からペンを引きずることで数値を変化させる対話技法について、その利点を整理し、実装のための詳細設計について述べた。マーキングジェスチャは整形の対象と種類を一括して指示できること、数値入力を手書きで行えるためキーボードを使う必要がないこと、その形状が直感的で覚えやすいことなどの利点がある。引きずり動作による数値を変更する対話技法には、ペンに向けた短い距離のドラッグで操作できること、変化させるためのボタンを表示する必要がないことなどの利点がある。

また、これらの対話技法の適用例として、図形の性質の教育を支援するソフトを取り上げ、教育的な効果を向上させることを方針として基本設計を行い、小学校算数で取り上げられることが多い三角形を対象としたソフトの実現について述べた。マーキングジェスチャやペン入力指向の対話技法を採用することで、図形の変形操作に、メニューやボタンを必要とせず、教育上必要な最低限である書く操作だけで行うことができるインタフェースを提供することができた。また、数値属性の表示方法を変えられる機能によって、三角形の性質を効率的に教えられるようにした。

今後の課題としては、従来の対話技法との比較実験、教育的効果の検証、扱うことができる図形を増やして実用性を高めることが挙げられる。

謝辞

本研究の一部は、科研費奨励研究(A)13780205の補助による。

参考文献

- [1] Gordon Kurtenbach and William Buxton: Issues in combining marking and direct manipulation techniques, Proceedings of UIST '91, pp.137-144, 1999.
- [2] Thomas Baudel: A mark-based interaction Paradigm for free-hand drawing, Proceedings of UIST '94, pp.185-192, 1994.
- [3] 松田浩一, 近藤邦雄: 手書き図形入力のための時系列情報を利用した逐次清書法, 情処学論, Vol.40, No.2, pp.594-601, 1999.
- [4] 五十嵐健夫, 松岡聡, 河内谷幸子, 田中英彦: 対話的整形による幾何学的図形の高速描画, 情処学論, Vol.39, No.5, pp.1373-1384, 1998.
- [5] Ivan E. Sutherland: Sketchpad a man-machine graphical communication system, Proceedings Spring Joint Computer Conference, No.23, pp.329-346, 1963.
- [6] 児島治彦, 隣接線分構造解析法によるオンライン手書き図形入力方式, 情処学研報, JDP 6-2, pp.1-8, 1986.
- [7] 坂東宏和, 根本秀政, 澤田伸一, 中川正樹: 黒板の情報化による教育ソフトウェア, 情処学論, Vol.42, No.3, pp.624-632, 2001.
- [8] 小國健, 中川正樹, 対話型電子白板システムを用いた種々のアプリケーションのプロトタイピング, 情処学研報, HI 67-2, pp.9-16, 1996.
- [9] 加藤直樹, 大美賀かおり, 中川正樹: 携帯型ペン入力情報機器におけるペンジェスチャ入力指示インタフェース, 情処学論, Vol.41, No.9, pp.2413-2422, 2000.