

文房具メタファを利用した作図における自動調整機能

加藤 直樹[†] 福田 奈津子[†] 中川 正樹[†]

本論文は、表示一体型タブレットの画面上に表示された仮想的な文房具“文房具メタファ”を用いて作図を行う環境において、文房具メタファの位置や傾き、大きさを合わせる操作、あるいは、書き始めや書き終わりを既描画図形にぴったり合わせる操作を、計算機が自動的に補助する機能の設計、実現、および、その効果について報告する。作図において文房具の位置合わせや書き始めの点の調整が難しいという問題は、現実の紙上の作図でも存在する。また、マウスベースの作図システムを使用した作図でも存在する問題点である。我々が先に提案した文房具メタファを用いた作図でも、細かい調整が難しいことが問題となった。本論文で述べる自動調整機能は、ユーザの文房具メタファに対する操作および描画が終了した段階で、計算機がユーザの意図を推測し、必要と判断した場合は自動的に調整を実行する。つまり、この自動調整機能は、実際の文房具を用いたときに人間が行う調整操作の自動化である。この自動調整機能を実際に作図システムに組み込み、その有効性を検証するための評価実験を行った。その結果、自動調整機能を組み込むことで、それがなくより作図に要する時間と文房具メタファを操作する回数が減少した。つまり、この自動調整機能の有効性が検証された。

Automatic Adjustment Mechanism for Drawing with Stationery Metaphors

NAOKI KATO,[†] NATSUKO FUKUDA[†] and MASAKI NAKAGAWA[†]

This paper describes an automatic adjustment mechanism for drawing with stationery metaphors which are virtual writing tools displayed on a display-integrated tablet. An important process in drawing is the adjustment of position, size, angle and start or end points of drawings that are about to be drawn. This has always been a troublesome task with real drawing tools and with mouse-based drawing systems. The difficulty of making adjustments has become a problem in drawing with stationery metaphors, too. The adjustment mechanism anticipates a user's intentions when the user has finished an operation, and automatically carries out adjustments if the computer decides that adjustments are necessary. In short, the adjustment mechanism is an automation of a user's operations with real stationery. We have implemented and evaluated an adjustment mechanism. From experiments to evaluate the mechanism, it was found that the task time and the number of manipulations of a stationery metaphor with the adjustment mechanism is less than that without. Therefore, it has been verified that the adjustment mechanism is useful.

1. はじめに

文章作成にワードプロセッサ（以下、ワープロ）やワープロソフトウェアの利用が一般的になってきた。仮名漢字変換の向上にもなって、ペンで下書きすることなく、これらの環境で文章の発想から仕上げまで行うユーザも少なくなってきた。

一方、図などの作成を支援する機能、あるいは、作図ソフトウェアについては、発想段階から利用するユーザは多くなく、一般的には作図の仕上げツールとして利用されている状況である。研究室内の調査では、多

くのユーザは下書きを準備し、かつ、作図機能の制限から、多少なりとも出来ばえに妥協して利用しているとの結果を得ている。それでも利用するのは、手書きよりきれいに、製図より簡便に図を作成でき、かつ、文章と一体で印刷、管理、再利用できるからであろう。

我々はこうした方向での作図ソフトウェアを否定する訳ではないが、一方で、発想段階から作図を計算機で支援する可能性を検討してきた。現状の作図ソフトウェアの問題は次の2点と考えた。

- 紙とペンの作図とはまったく異なった方法で描かないといけない。
- 考えながら利用しようとする表現が限られるうえに余分な手間が多い。

そこで我々は、表示一体型タブレットとスタイラス

[†] 東京農工大学工学部電子情報工学科
Department of Computer Science, Tokyo University of
Agriculture and Technology

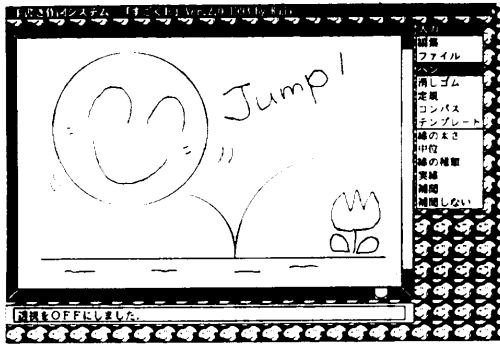


図1 作図システムの実行画面
Fig. 1 Screen shot of drawing system.

ペンを計算機との対話デバイスとして使用した“ペンユーザインタフェース”に注目し、紙にペンで図を描くのと同じ感覚で作図でき、かつ計算機的能力を活用できる作図システムを設計・実現した^{1)~6)}(図1)。このシステムの特徴は、下書きをフリーハンドで自由に描き、整形したい部分は文房具メタファを用いてきれいに描き直せる点である。文房具メタファは、定規やコンパス、テンプレートといった文房具を用いた作図環境を、計算機上で提供することを目的として提案した仮想の文房具である。ユーザは画面上に表示された文房具メタファを操作することで、定規なら線分を、コンパスなら円弧を、テンプレートなら三角形や四角形といった図形を描くことができる。文房具メタファは、実際の文房具の機能を模倣しているため、作図操作を直感的に行えるという利点をもたらす。また、考えながらの下書き作業と文房具メタファによる仕上げ作業の分離から、発想段階でユーザの思考を邪魔しない。さらに、図形を描く位置を文房具メタファが示すため、表示一体型タブレットが持つ視差の問題を解決する³⁾。

ペンユーザインタフェースを採用した作図システムと文房具メタファの評価のための実験を行った^{3),4),6)}。それらの有効性を認める結果が得られた反面、文房具メタファの位置合わせや、ペンの描き始めと終わりの位置合わせに手間取るといった問題が明らかになった。この問題は現実の文房具を用いた作図でも存在する。また、マウススペースの作図システムでも存在する問題である。ただし、ペン入力と文房具メタファの場合は、実際の文房具やマウス以上に手ぶれの影響を受けやすいことから、改善の必要性は高い。逆にここを計算機が支援することで、文房具の感覚で使用でき、位置合わせなどの問題もなくしたインタフェースを提供することが可能になる。

本論文では、描かれている図形に対して、文房具メ

タファの位置や傾き、大きさを合わせる操作、あるいは、書き始めや書き終わりを合わせる調整を計算機が自動的に補助する機能^{5),6)}(自動調整機能)を提案する。そして、その有効性を検証するために行った評価実験について述べる。

マウススペースユーザインタフェースを採用した既存の作図システムでも、作図における調整を支援する機能を提供しているものがある。その機能の1つがグリッドへの吸着機能である。これは、位置や大きさを合せる時の目安とするために画面上に引かれた線(グリッド線)やそれらの交点に図形の始点や終点を合わせる機能である。この機能は画面上での絶対位置を合わせることに便利であるが、図形どうしの相対位置調整には不向きである。

一部の作図システムでは、図形どうしの調整を支援する機能を持ったものもある。たとえば花子では、ファンクションキーを押しながら図形を描き始めると、描き始めの点が近くにある図形の端点に吸着する。

Matchtool2⁷⁾は図形間に制約(constraint)を設定することで、図形の調整を行うことができる。制約はSutherlandの時代から考えられていた⁸⁾。

こうした観点からすれば、本論文で提案する機能はそれらと同種のものといえられるが、そうだとすると、調整の方法が複数あるときにユーザの意図を推測して調整を行う点は新しいといえよう。また、実際の文房具の良さを仮想的に提供し、その欠点を計算機処理によって補う手法として捉えれば、本研究はまったく初めての試みである。

2. 文房具メタファを利用した作図における自動調整機能の提案と基本設計

2.1 調整機能の分類

作図における調整は大きく2種類に分類できる。1つは図形を描く過程で、もう1つは描いた後、つまり編集段階で調整するものである。自動調整機能は前者に分類される。

さらに、自動調整機能は2種類の調整に分類できる。1つは、文房具メタファの位置や傾き、大きさを、すでに描かれている図形に対して調整するものである。すでに描かれている線分の端点から円弧を描くときに、コンパスメタファのペン先を線分の端点に重ねる調整がその一例である(図2)。もう1つは、文房具メタファを用いて描く図形の始点と終点を、すでに描かれている図形に対して調整するものである。すでに描かれた線分から新たな線分を描きたいときの調整がその一例である(図3)。前者を文房具メタファの調整、後

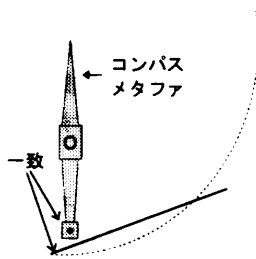


図2 文房具メタファの調整

Fig. 2 An adjustment to a stationary metaphor.

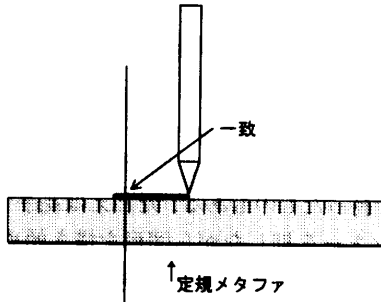


図3 描画している図形の調整

Fig. 3 An adjustment to the object being drawn.

者を描画している図形の調整と呼ぶ。

2.2 自動調整機能インタフェースの設計方針 設計方針として次の項目をあげた。

(1) 調整は自動的にを行う

自動調整機能は、ユーザの指示なしに、計算機がユーザの意図を推測し、自動的に起動される。

我々が提案する調整機能は作図の途中で頻繁に必要とする。その都度指示しなければならないと、ユーザの手間が非常に増加する。そこで、調整は自動的に実行する。

(2) 調整はユーザの操作に続けて行う

自動調整機能は、ユーザの一操作が終了するごとに、続けて起動される。

ユーザの操作に続けて調整を実行すれば、調整対象はユーザが操作している文房具メタファの近くにある図形に限定できる。一方、すべて書き終って編集段階で調整しようとする時、どのような優先順位でどこをどのように調整するのかをシステムが決めるか、ユーザに指示してもらわなければならない。前者の実現は難しく、後者はユーザの負担を増やすことになる。

(3) 調整はユーザが行っていた操作を継続して行う

文房具メタファの調整では、ユーザが直前に行っていた操作方法で調整を行う。たとえば、ユーザが文房具メタファを移動した直後に調整を実行する場合、その調整は移動で行う。

ユーザが行っていた操作方法以外、この例では回転や拡大縮小などの方法で突然調整を行うとユーザの混乱を招く。ユーザはある目的に対し、普通はその目的を達成する最適な方法で文房具メタファを操作する。したがって、そのときの操作方法を引き継ぐことで、目的達成を補助できる。

(4) すでに描画されている図形は変更しない

自動調整機能では、すでに描画されている図形と文房具メタファもしくは文房具メタファを用いて描画している図形との関係を調整する。このとき、変更するのは文房具メタファ、もしくは描画している図形とし、すでに描画されている図形は変更しない。

すでに描画されている図形は調整が済んでいる可能性が高く、その図形の位置などを変更すると、図全体の秩序が乱れる。また、現実の紙を用いた作図でも、調整時に変更をするのは文房具やペン先の位置である。

(5) 自動調整機能の働き方をユーザが変更できるようにする

計算機はユーザの一操作が終了した段階ごとにどのような調整を行うかを決定する。この決定は、すべての実行可能な調整それぞれに与える評価値をもとに行う。最も評価値が高い調整を自動的に実行する。ところで、ある状態でどのような調整を実行させたいかはユーザによって異なりうる。したがって、この評価値の決定に使われるパラメータをユーザが変更できるようにする。

(6) 実行された自動調整を取消し可能、および選択可能にする

ユーザの意図とは異なった調整が実行されることもありうる。そこで、自動調整機能が働いた後でも、その調整を取り消して前の状態に戻れるようにする。また、ユーザの意図した調整が最も高く評価されずに棄却される可能性もある。そこで、評価が高かったいくつかの調整から、利用者が選択して実行できるようにする。

(7) 自動調整機能を解除できるようにする

自動調整機能はある部分と部分を重ねるといった秩序的な調整操作は補助するが、一方で、その部分を少しだけ難し操作を妨げる。このようなときのために、ユーザが自動調整機能を働かないように設定できるようにする。

2.3 調整の決定方法

2.3.1 調整決定の流れ

先に文房具メタファの調整の例として図2を示した。図2における自動調整機能は、コンパスメタファのペン先を移動して、すでに描かれている線分の端点に重

ねようとしているユーザの調整操作を補助する。

調整は、設計方針で述べたとおりユーザが行っていた操作、つまりこの例ではペン先を移動することで行う。調整をどのような方法で行うかを調整の方法と呼ぶ。ユーザが操作を終了した状態からどのくらい変化させるか、この例ではどの方向にどのくらい移動するかを示す値を調整の方向および調整の変化量と呼ぶ。調整の方法と方向および変化量が決めれば、実行する調整が一意に定まる。

方向と変化量は、どの部位をすでに描かれている図形のどの部位に対して調整するかを決めれば求まる。今の例では、コンパスメタファのペン先を線分の端点に対して調整する。前者を調整部位、後者を調整相手部位と呼ぶ。

ある場面で調整部位および調整相手部位となりうる部位は一般に複数存在する。このうちどの部位どうしの組合せで調整を行うかは、評価値をもとに決定する。評価値は、その組合せの調整がどれほどユーザの意図を反映しているかを予想した値である。反映している度合いが高いと思われるときほど高い値を与える。

2.3.2 調整相手部位候補の選定

作成している図に含まれるすべての図形の部位を調整相手部位候補とすると、評価値を計算する手間が非常に多くなる。そこで、まず最初に調整部位候補の近傍にある図形だけに限定する。

限定した図形に含まれる部位すべてが調整相手部位候補になるわけではない。たとえば、コンパスメタファを回転するときペン先を重ねることができるのは、針先を中心とした円周上だけである。調整部位候補ごとに、限定した図形に含まれる部位のうち調整が可能なものを、調整相手部位候補として選定する。

2.3.3 評価値の計算

ユーザは自分の目的をできるかぎり少ない手間で達成しようと操作するはずである。したがって、ユーザが意図する調整とは、ユーザが操作を終えた状態から調整を実行した後の状態にするのに必要な変化量が最も小さいものと考えられる。そこで、すべての調整部位候補と調整相手部位候補の組合せごとに、その調整における変化量の逆数を評価値の初期値として計算する。

調整相手部位の種類によっては他の部位より優先して調整を行いたいことがある。たとえば、図4(a)のように、線分の端点への調整は線分上の他点への調整よりも優先したいことが多い。そこで、調整相手部位候補の種類に依存した係数(1以上)を評価値に掛ける。

図4(b)のように、複数の調整相手部位に対して同

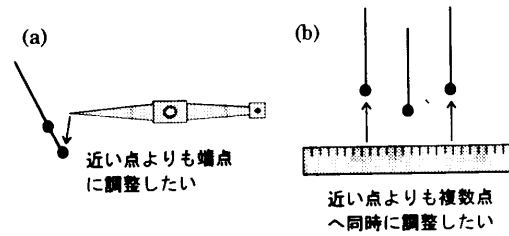


図4 優先的に調整したい例

Fig. 4 Example of cases where adjustment with higher priority is carried out.

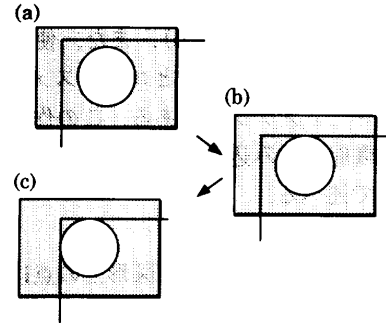


図5 2本の直線に接する円を描く手順

Fig. 5 How to draw a circle which touches two straight lines.

時に調整できるときは、優先させて実行したいことが多い。この調整は、調整方向と変化量の等しい組合せが複数ある調整である。そこで、このような組合せの評価値には係数(1以上)を掛ける。

評価値に掛ける係数は、設計方針(4)に従ってユーザが変更できるようにする。

2.3.4 調整の実行と追加調整の検討

先に示したとおり、評価値が最も高い調整を実行する。最も高い評価値を持ったものが複数ある場合は、変化量が少ない方がユーザの意図を反映しているとし、変化量の少ないものを実行する。ただし、最も高かった評価値がある水準より小さい場合は、ユーザは調整をしようとしていないとし、調整を実行しない。

1つの調整を実行した後、さらに調整を行ってほしい場合がある。図5がその例である。ユーザとしては(c)の状態にしようとして操作したときでも、1回の調整では(b)の状態までにしかならないことが多い。そこで、調整が終わった段階で、実行した調整を崩さない条件のもとで行える調整があるかを再度検討する。もしもある場合はその調整を実行する。

3. 詳細設計

現在、我々が実現した作図システムで扱える図形は、



図6 作図システムで描ける図形

Fig. 6 Drawing objects with the drawing system.

線分、楕円弧、手書きパターン（筆点列間を線分補間したもの）、自由曲線（筆点列間をスプライン補間したもの）、および複数の図形をひとまとめに扱うグループオブジェクトである（図6）。また、使用できる文房具メタファは定規メタファとコンパスメタファ、およびテンプレートメタファである。この作図システムに自動調整機能を組み込むために行った、より詳細な設計を本章で述べる。

3.1 図形の特徴点

文房具メタファの調整では、図形上の点に対して調整を行うことが多い。これらのうち次に示す点を図形の特徴点と呼ぶ。

始点と終点：グループオブジェクト以外の図形は始点と終点を持つ。この両者を特徴点とする。

分点：分点は線分をある比率で2つに分割する点であり、中点はその例である。デフォルトとして中点を特徴点とするが、設計方針(4)に従って、どのような比率で分ける点を特徴点とするかをユーザが設定できるようにする。

中心点：楕円弧とグループオブジェクトの中心点を特徴点とする。楕円弧の中心点は、その楕円弧が一部をなす楕円の中心点である。グループオブジェクトの中心点は、外接矩形の中心点である。

交点：複数の図形が交わる点（交点）を特徴点とする。

3.2 文房具メタファの調整

3.2.1 調整の方法、調整部位候補、調整相手部位になりうる部位

文房具メタファの調整における調整の方法、調整部位候補、および調整相手部位になりうる部位を、文房具メタファの種類ごとに示す。

(1) 定規メタファの場合

定規メタファの調整では、定規メタファに行える操作である移動と回転の2つが調整の方法となる。

定規メタファを用いて線分を描く具体例を図7に示す。これらの例では、線分が描画される位置を示す定規メタファの部分（描画線分位置）を、すでに描かれている図形に対して調整する。したがって、定規メタファの調整における調整部位候補は、この描画線分位

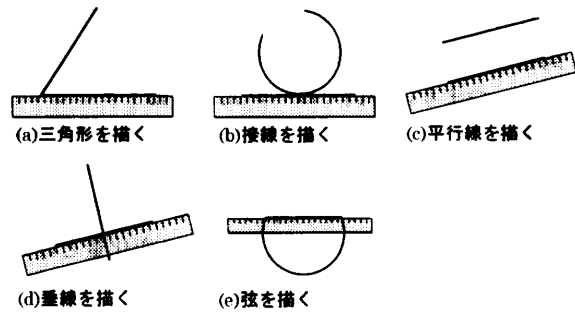


図7 定規メタファの使用例

Fig. 7 Example of using the ruler metaphor.

表1 定規メタファの調整におけるパラメータ

Table 1 Parameters of an adjustment with a ruler metaphor.

調整部位候補	描画線分位置	
	移動	回転
調整の方法		
調整相手部位になりうる部位	特徴点 接点	線分
調整の種類	線分と点の重ね	角度の特殊化

置とする。

定規メタファの調整は、描画線分位置を調整部位として、それをすでに描かれている図形上の点に重ねる調整（線分と点の重ね）と、すでに描かれている線分となす角度を特別な角度にする調整（角度の特殊化）の2種類に分類できる。図7(a)は前者の例であり、(c)、(d)は後者の例である。(b)は接点に一致させると考えられるから、前者に分類する。(e)は前者の調整を複数の特徴点に対して行ったものである。

“線分と点の重ね”は移動でも回転でも可能である。“角度の特殊化”は回転のときだけ可能である。このことをふまえると、定規メタファの調整における調整の方法、調整部位候補、調整相手部位になりうる部位の組合せは表1に示すとおりとなる。図7(b)のように、線分を楕円弧に接するように描きたいことがある。そこで、調整相手の図形が楕円弧のときは、その接点も調整相手部位になりうる点として考慮する。図形が自由曲線のときも同様に接点を考慮する。

(2) コンパスメタファの場合

コンパスメタファに行える操作は、全体の移動と回転、およびペン先の移動である。円弧の中心となる針先の位置決めは全体の移動で行う。円弧を描き始める点となるペン先の位置決めは、回転もしくはペン先の移動で行う。

コンパスメタファを用いて円弧を描くときの具体例を図8に示す。(a)では針先を線分の中点に、ペン先を線分の端点に一致させる。(b)では針先を円（楕円

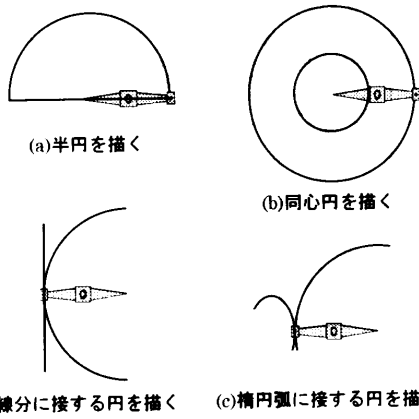


図8 コンパスメタファの使用例
Fig. 8 Example of using the compass metaphor.

表2 コンパスメタファの調整におけるパラメータ
Table 2 Parameters of an adjustment with a compass metaphor.

ユーザの操作	全体の移動	回転	ペン先の移動
調整部位候補	針先		ペン先
調整の方法	移動	回転	移動
調整相手部位 になりうる部位	特徴点		特徴点 最近傍点 接点
調整の種類	点と点の重ね		

弧)の中心に一致させる。(c)ではペン先を線分に一致させる。(d)ではペン先を楕円弧上に一致させる。これらの例では、針先もしくはペン先(ともに点要素)をすでに描かれている図形上の点に重ねる調整(点と点の重ね)を必要とする。

したがって、コンパスメタファの調整における調整の方法と調整部位候補、および調整相手部位になりうる部位の組合せは表2のとおりとなる。図8(c)、(d)のように直線または楕円弧に接する円弧を描きたいことがある。そこで、調整部位候補がペン先で、調整相手の図形が直線もしくは楕円弧のとき、接点を調整相手部位になりうる点として考慮する。図形が自由曲線のときも同様に接点を考慮する。また、針先やペン先を、すでに描かれている図形上のなるべく近い点に重ねたいことがある。そこで、重ねるための変化量が最も小さくて済む点(最近傍点)を調整相手部位になりうる点として考慮する。

(3) テンプレートメタファの場合

テンプレートメタファの調整では、テンプレートメタファに行える操作である移動と回転、および拡大縮小が調整の方法となる。

テンプレートメタファの調整では、そのテンプレートで描ける図形(描画図形)をすでに描かれている図

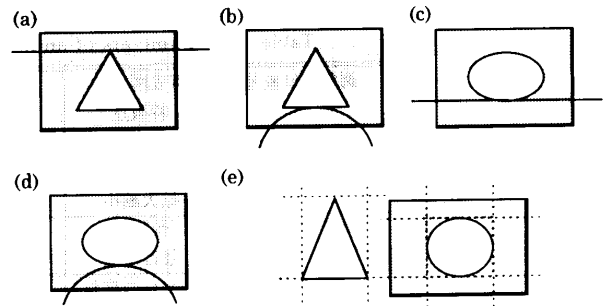


図9 テンプレートメタファの使用例
Fig. 9 Example of using the template metaphor.

形に対して調整する。テンプレートメタファを用いて描くときの具体例を図9に示す。(a)では描画図形を構成している図形の特徴点に対して調整する。(b)~(d)では線分の部分を楕円弧に、または楕円弧の部分を線分もしくは楕円弧に接しさせる。また、(e)では描画図形とすでに描かれている図形の外接矩形の辺を延長した直線どうしを調整する。

これらをまとめると、調整の方法と調整部位候補、および調整相手部位になりうる部位の組合せは表3のとおりとなる。

調整部位が点の場合は、調整方法に拡大縮小が含まれることと、調整相手部位になりうる点として接点が含まれないことを除くと、コンパスメタファのペン先を調整部位候補とした調整(点と点の重ね)と同じである。

調整部位が線分の場合は、調整の方法に拡大縮小が含まれることを除くと、定規メタファの調整と同じで、“線分と点の重ね”と“角度の特殊化”の2種類がある。拡大縮小では両方の調整が可能である。

調整部位が楕円弧と自由曲線の場合は、その調整部位と点を重ねる調整(曲線と点の重ね)である。曲線の部分をすでに描かれている線分もしくは曲線に接するように描く用途から、その接点も調整相手部位になりうる点として考慮する。

調整部位が外接矩形の辺の延長線の場合は、すでに描かれている図形の外接矩形の辺の延長線と重ねる(直線と直線の重ね)調整である。

3.2.2 調整相手部位候補の選定

操作方法が移動の場合、調整部位はあらゆる場所へ移動可能であるから、先に示した調整相手部位になりうる部位すべてを調整相手部位候補とする。定規メタファの“角度の特殊化”の場合も、調整部位はあらゆる角度になることができるから、すべてを調整相手部位候補とする。

その他の調整では、調整部位が移動できる位置の範

表3 テンプレートメタファの調整におけるパラメータ
Table 3 Parameters of an adjustment with a template metaphor.

調整部位候補	構成図形の特徴点	線分		楕円弧 自由曲線	外接矩形の辺 の延長線
		移動	回転 拡大縮小		
調整の方法	移動 回転 拡大縮小			移動 回転 拡大縮小	移動 回転 拡大縮小
調整相手部位 になりうる部位	特徴点 最近傍点	特徴点 接点	線分	特徴点 接点	外接矩形の辺 の延長線
調整の種類	点と点の重ね	線分と点の 重ね	角度の 特殊化	曲線と点 の重ね	直線と直線の 重ね

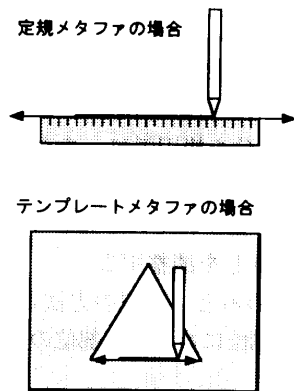


図10 始終点を移動できる範囲

Fig. 10 The movable range of start or end point.

囲や変形できる角度の範囲に限られる。その範囲に入る部位だけを調整相手部位候補とする。たとえば、コンパスメタファの回転では、ペン先は針先を中心とした円周上にしか移動できない。したがって、この円周上にある部位だけを調整相手部位候補とする。

3.2.3 調整の変化量

調整の方法が移動の場合、ユーザが操作を終了したときの状態から、調整を実行した状態にするのに必要な移動量を、調整の変化量とする。同様に、回転の場合は回転角度、拡大縮小の場合は拡大率もしくは縮小率を調整の変化量とする。

3.3 描画している図形の調整

3.3.1 調整の方法

描画している図形の調整では、その始点と終点の位置を調整する。始点と終点の調整は独立して行えるから、始点の調整と終点の調整の2つを実行する。

始点または終点の位置調整は、図10に示すようにユーザが描画を指示した図形上、および、その図形の延長線上を移動可能範囲として行う。ただし、テンプレートメタファで描いている場合は、延長線の長さには制限がある。

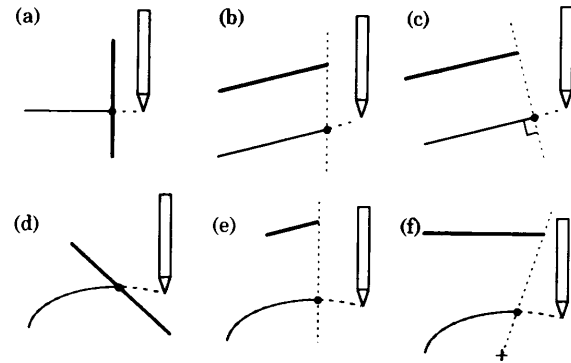


図11 始終点調整の例

Fig. 11 Example of adjustments to the start or end points of an object being drawn.

表4 描画している図形の調整におけるパラメータ
Table 4 Parameters of an adjustment to the object being drawn.

描画している図形	線分, 楕円弧, 手書きボタン, 自由曲線
調整部位候補	始点, 終点
調整相手部位 になりうる部位	すでに描画されている図形との交点 すでに描画されている図形の特徴点を通る 直線*との交点
調整の種類	点と点の重ね

* 垂直線, 水平線, および, 描画している図形が線分の場合はその線分に垂直な直線, 楕円弧の場合はその中心を通る直線。

3.3.2 調整部位候補と調整相手部位になりうる部位

描画している図形の調整の例を図11に示す。(a)~(c)は線分を描いているときの調整で、(d)~(f)が楕円弧を描いているときの調整である。(a), (d)は描画を指示した図形およびその延長線とすでに描かれている図形との交点へ、(b), (c), (e), (f)はすでに描かれている図形の特徴点を通る直線との交点へ、始点または終点を重ねる調整(点と点の重ね)である。これ以外に、手書きボタンと自由曲線を描く場合も、上記の2種類の調整がある。

以上から、描画している図形の調整における調整部位候補と調整相手部位になりうる部位の組合せは表4のとおりとなる。

表5 実現した自動調整機能

Table 5 Automatic adjustment mechanisms implemented.

文房具メタファ	調整方法	調整相手部位
定規メタファ	移動	特徴点, 接点
コンパスメタファ	全体の移動	特徴点, 近点
	ペン先の移動	特徴点, 近点

3.3.3 調整相手部位候補と変化量

定規メタファおよびコンパスメタファで描いている場合、始点と終点は自由に移動できるから、すべての交点を調整相手部位候補とする。テンプレートメタファで描いている場合、始点または終点を移動できる範囲は限られるから、この範囲に入る交点だけを調整相手部位候補とする。

ユーザが描画を終了した状態から、それぞれの調整を実行した状態にするために始点と終点を動かしたときに、始点と終点が描く軌跡の長さを調整の変化量とする。

4. 自動調整機能の評価

我々が提案した自動調整機能が本当にユーザの操作を助けるのかという有効性を検証するために、自動調整機能の基本部分を試作し、評価実験を行った。本章で、実現した調整機能と評価実験の手法、結果を述べる。

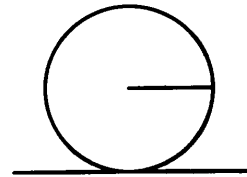
4.1 実現した調整の種類

実現した調整を表5に示す。今回調整機能を組み込んだ作図システムは、調整機能の有効性を評価するためのプロトタイプ版と位置づけたものである。そこで、自動調整機能の有効性を証明できる最低限の機能を実現した。そして、その有効性を報告してから、工数の大きい機能を拡張的に実現していくという開発方針をとった。具体的には、テンプレートメタファに関する調整機能、評価値を変更する処理、自動調整機能を働かせなくする機能、実行した調整を取り消す機能は実現していない。なお、調整相手部位候補が特徴点と接点のときは、他の部位にくらべ調整する機会が多いと考え、評価値を高く与えるようにした。

4.2 評価実験の内容

4.2.1 目的と実験手法

本実験の目的は、自動調整機能の有効性の検証である。そこで、自動調整機能がない状態とある状態の2つの状態で、被験者に図12を提示し、実際に作図を行ってもらおう。実験前には、作図システムの操作方法を説明し、実際に使用させて操作に十分慣れてもらった。実験後には、ユーザの意見を収集するためにアン



- (1) まず、適当な長さの直線を描画します
- (2) 直線の左端点を中心、直線の長さ半半径とした円を描画します
- (3) 円に接する直線を描画します

図12 実験の説明図

Fig. 12 Figure for the evaluation experiment.

表6 作図にかかった操作時間

Table 6 The average time taken to complete the task.

	調整機能あり	調整機能なし
操作時間 (s)	74.7	126.4

表7 作図における文房具メタファの平均操作回数

Table 7 The average number of operations.

文房具メタファの種類	調整機能あり			調整機能なし		
	定規	コンパス		定規	コンパス	
操作方法	移動	針先	ペン先	移動	針先	ペン先
平均回数	5.45	3.10	3.50	13.35	10.20	8.85

ケートに答えてもらった。ほとんどの質問で、回答を大別できるように選択肢から選ばせるようにした。また、同時にコメント欄を設け自由な意見を収集した。

4.2.2 被験者と実験順序

本実験は、我々の研究室の20代の学生19名と教官1名の計20名を被験者として行った。この20名を10名ずつのグループ(AとBグループ)に分けた。Aグループは自動調整機能ありの状態を先に、なしの状態を後に実験した。Bグループはその逆である。これは、作図手順の学習効果を実験結果から除くためである。

4.2.3 測定項目

2つの状態を比較するために、作図に要した時間(操作時間)と作図の間に行った操作の回数(操作回数)を測定した。本実験は自動調整機能の効果を検証するためであるから、操作回数は調整をするべき操作について測定した。つまり、円の中心を決めるためのコンパスメタファの針先移動と、円の半径を決めるためのコンパスメタファのペン先の移動、および円に接するように線分を描くための定規メタファの移動の3つの操作について操作回数を計測した。

4.3 実験結果

被験者全員の操作時間を平均した値を表6に、操作回数を平均した値を表7に示す。また、操作時間の

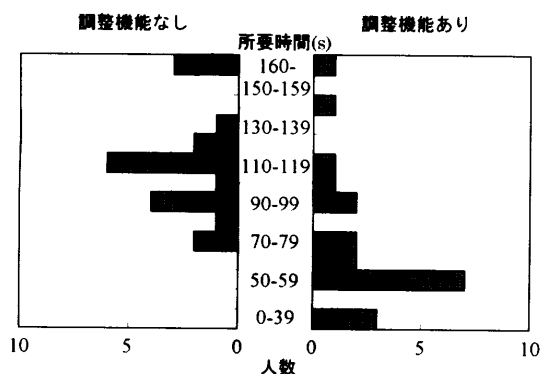


図 13 作図にかかった操作時間帯別人数
Fig. 13 Number of subjects by time taken for tasks.

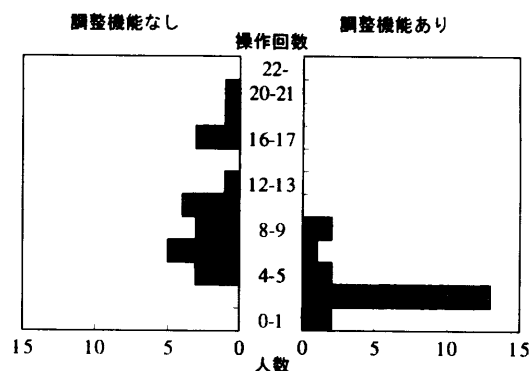


図 15 作図における針先の移動回数別人数
Fig. 15 Number of subjects by number of moving operations of the pivotal of a compass metaphor.

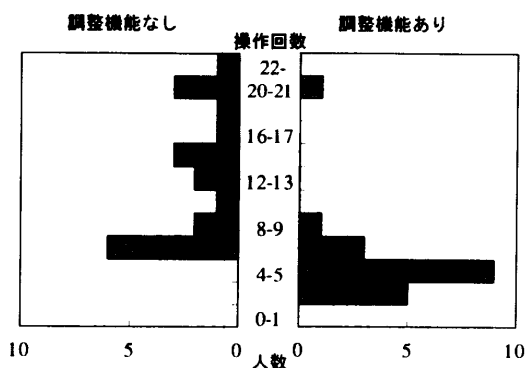


図 14 作図における定規メタファの移動回数別人数
Fig. 14 Number of subjects by number of moving operations of a ruler metaphor.

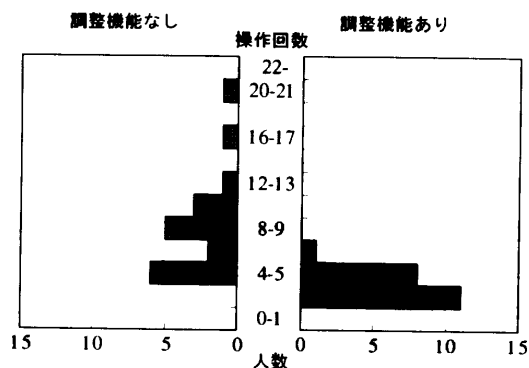


図 16 作図におけるペン先の移動回数別人数
Fig. 16 Number of subjects by number of moving operations of the pencil arm of a compass metaphor.

時間帯別人数を図 13 に、操作回数の回数別人数を図 14, 15, 16 に示す。A グループと B グループの間に差がないことは危険率 5% の t 検定で確かめられたので、両方をあわせて示した。アンケートの内容と回答を図 17 に示す (ただし一部省略)。

4.4 考 察

次に項目別に考察を述べる。

(1) 自動調整機能の有効性

平均操作時間は自動調整機能がないときよりあるときの方が短い (約 60%)。また平均操作回数はすべての操作において、自動調整機能がないときよりあるときの方が少ない (約 30~40%)。この差はすべて危険率 5% の t 検定で認められた。さらに、操作時間別および操作回数別の人数をみても、時間が短いまたは回数が少ない人が多いのは、自動調整機能があるときである。つまり、自動調整機能を導入することで、作図における所要時間と操作回数を減少できることが示された。すなわち、数値的に調整機能の有効性が認められたといえる。

アンケートの質問 1 では、85% の人が調整機能があるときの方が作図しやすいと答えている。質問 2 では、20 人全員が便利である、もしくは、まあまあ便利であると答えている。さらに質問 7 では、95% の人が今後も使ってみよう、もしくは今後も少しなら使ってみようという調整機能に満足した肯定的な意見を答えている。このようにアンケートの結果からも調整機能は有効であるといえよう。

(2) 諸機能の重要性

質問 3 では自動調整機能が働く距離について質問したが、回答は人によってまちまちであった。質問 11 のコメントとして、作図の目的によって必要な調整が変わるという意見が得られた。これらは、人や場合に応じて自動調整機能への要求が変わることを示している。したがって、設計方針 (4) で示したユーザが自動調整機能の働き方を設定できるようにすることは重要である。

また、質問 5 では、35% の人が自動調整機能を働か

質問1：自動調整機能があるときとないときでは、どちらが作図しやすかったですか？

- (a) あるとき 17人
 (b) ないとき 2人
 (c) どちらも変わらない 0人

<あるときと答えた人のコメント>

- ・ペンは微調整しづらい
- ・修正の必要がないので簡単である
- ・正確な位置を指定しなくてよいので楽である

<ないときと答えた人のコメント>

- ・別の楽なところについてしまった
- ・調整機能にとまどった

質問2：自動調整機能に対してどのような印象を持ちましたか？

- (a) 便利である 17人
 (b) まあまあ便利だと思う 3人
 (c) あまり必要ないと思う 0人
 (d) 必要ない 0人

<コメント>

- ・意図通りの調整が行えれば便利である
- ・細かい図のときは必要であるが、逆に意図したとおりに調整しないときは邪魔になる恐れがある

質問3：図形にある距離近づくと自動調整機能が適用されます。その距離はどうでしたか？

- (a) 長すぎる 5人
 (b) ちょうどよい 8人
 (c) 短すぎる 4人

(無回答 2人)

質問4：調整機能を使って、思ったとおりの微調整ができましたか？

- (a) できた 12人
 (b) すこしできた 8人
 (c) あまりできなかった 0人
 (d) できなかった 0人

<できたと答えた人のコメント>

- ・自動調整機能が動いたことを示して欲しい
- ・すこしできたと答えた人のコメント>

・文房具メタファの即時性がなかったためできなかったのかもしれない

・直線の端点に円の始点が合わなかった

質問5：自動調整機能を働かせなくする機能が欲しいと思ったことはありましたか？

- (a) ない 13人
 (b) 何回もあった 6人
 (c) かなりあった 1人

質問6：今回の作図で編集の消去操作を行いましたか？

- (a) 行わない 15人
 (b) 1~4回 4人
 (c) 5~10回 1人
 (d) それ以上 0人

質問7：自動調整機能のついたこの作図システムを今後使ってみたいと思いますか？

- (a) 使いたい 15人
 (b) 少しなら使ってもよい 3人
 (c) あまり使いたくない 1人
 (d) 使いたくない 0人

<使いたいと答えた人のコメント>

- ・作図する図形による
- ・楽しい
- ・もっと速く動けばもっと使いやすくなる

<少しなら使ってもよいと答えた人のコメント>

- ・文房具メタファの操作方法がわかりづらい
- ・調整が動く位置による

質問8：普段使用している作図システムで、直線の端点を一致させるときのようになっていますか？(記述式で複数回答あり)

- ・グリッドへの吸着機能を使用する 5人
 ・キーボードを使用する 3人
 ・目で見ても手動で行う 11人
 ・拡大する 3人

質問9：質問8と同様、円に直線を接しさせるときのようになっていますか？(記述式で複数回答あり)

- ・キーボードを使用する 2人
 ・目で見ても手動で行う 13人
 ・拡大する 3人

質問10：このような調整ができると思うものがありますか？(記述式)

- ・図形の中の文字の位置を調整する 3人
 ・図形を均等、平行に配置する 6人
 ・一部を固定して調整する 3人
 ・描画したものを調整する 2人

質問11：調整機能に関するコメントはありますか？(記述式)

- ・調整機能が動く距離や内容を明示して欲しい
- ・調整機能が動く範囲は図や細かさによって変わると思う
- ・作図の目的によって必要な調整が変わると思う
- ・グリッドによる調整に比べて柔軟性が高いのでよい

図 17 アンケート結果

Fig. 17 Results of the questionnaire.

せない機能が欲しいと答えた。今回の実験における作図は非常に単純であったにもかかわらず、こうした要望があることは、より現実的な作図では自動調整機能を働かせなくする機能が必要であることを示している。

5. おわりに

本論文では、文房具メタファを利用できる作図システムにおける、描画する図形の位置や傾き、大きさ合わせの難しさを解決する“文房具メタファを利用した作図における自動調整機能”を提案した。また、その有効性を検証するために行った評価実験について述べた。評価実験の結果、自動調整機能がない場合に比べ、作図における所要時間は約30%、操作回数は約30~40%と少なくなることが分かった。また、被験者からも自動調整機能に対する肯定的な意見が多く得られた。これらのことから、自動調整機能の有効性が確かめられた。ユーザが期待する調整をすべて自動で行うことは不可能であろうが、評価実験の結果が示すように、この論文で示した範囲の自動調整でも、ユーザの作業効率と満足度は向上する。

しかし一方で、作図システム全体の応答の遅さを指摘する意見が得られた。そこで、即時性が得られる環境上に作図システムを実現し、より現実的な作図における評価を行うことが第一の課題である。

また、今回実現していない機能を実現することや、文房具メタファどうしの調整についての検討も今後の課題である。操作中の文房具に対して、他方の文房具の特徴点を既描図形の特徴点と同様に扱うことにより、コンパスメタファの開きを定規メタファの目盛りに合わせていることなども可能であるが、文房具を複数組み合わせる場合に、現在の方法で可能な調整と不可能なものを網羅的に検討する必要がある。

さらに、描いた図形および文房具メタファの操作に対する制約(constraint)について検討する必要がある。せっかく行った調整を、編集後も生かしておきたい。制約は実行した調整をもとに自動的に設定できるので、ユーザの負担を増やすことなく図形に制約を持たせることができる。

今後、これらを実現し、文房具メタファを利用した作図システムの実用性を高めたい。

参 考 文 献

- 1) 風間信也, 福島英洋, 中川正樹: 手書きユーザインタフェースの研究—その図形への応用—, 第42回情報処理学会全国大会論文集, 2P-5, 2, pp.309-310 (1991).
- 2) Nakagawa, M., Kazama, S., Satou, T. and Fukuda, N.: Pen-based Interfaces for Drawing Figure with 'Stationery Metaphors', *Proc. HCI '93*, Vol.19B, pp.1046-1051 (1993).
- 3) 風間信也, 加藤直樹, 中川正樹: 文房具メタファを用いた手書き作図システム, 情報処理学会論文誌, Vol.35, No.7, pp.1457-1468 (1994).
- 4) 福田奈津子, 中川正樹: テンプレートメタファによる手書き作図インタフェースの試作, 情報処理学会 HI 研究会報告, 48-5, pp.33-40 (1993).
- 5) 福田奈津子, 加藤直樹, 中川正樹: 文房具メタファを用いた作図インタフェースにおける自動位置合わせについて, 計測自動制御学会第10回ヒューマンインタフェースシンポジウム論文集, pp.479-486 (1994).
- 6) Kato, N., Fukuda, N. and Nakagawa, M.: Adjustment Mechanism for a Drawing System with Stationary Metaphors, *Proc. HCI '95*, Vol.20B, pp.155-160 (1995).
- 7) David, K. and Steven, F.: Interactive Constraint-based Search and Replace, *Proc. CHI '92*, pp.609-616 (1992).
- 8) Sutherland, I.E.: *Sketchpad: A Man-Machine Graphical Communication System* (reprint of his 1963 Ph.D.thesis), Garland Publishing Inc., New York (1980).

(平成8年1月24日受付)

(平成8年9月12日採録)



加藤 直樹 (学生会員)

1969年生。1993年東京農工大学電子情報工学科卒業。1995年同大学院博士前期課程(電子情報工学専攻)修了。同年同大学院博士後期課程(電子情報工学専攻)入学。ヒューマンインタフェース, ペンコンピュータシステム, ネットワーク利用に興味を持つ。



福田奈津子 (正会員)

1970年生。1993年東京農工大学電子情報工学科卒業。1995年同大学院博士前期課程(電子情報工学専攻)修了。同年(株)日立マイコン入社。ヒューマンインタフェース, ペンコンピュータシステムに興味を持つ。



中川 正樹 (正会員)

1977年東京大学理学部物理学科卒業。1979年同大学院修士課程修了。同在学中, 英国 Essex 大学留学 (M.Sc. in Computer Studies)。1979年東京農工大学工学部助手。現在, 助教授。日本語計算機環境, 日本語文書処理, 手書きインタフェースなどの研究に従事。理学博士。