

階層表現による手書き記号図形の 大局的変形のモデル化

喜多伸之、河越正弘

(電子技術総合研究所)

手書きによって大きく変形した図形を人間が認識できるのは、手書き過程を思い浮かべながら変形が妥当なものであるか否か検証することによって認識するためである。そこで手書き過程をモデル化し、手書き図形に生じる大きな変形を解析することは、手書き図形認識への有効な手掛かりを与えられると思われる。

具体的には手書き過程を、図形を描くための一連の手の動き(描画プラン)に逐次的に変化を与える過程としてモデル化する。特に、描画プランを線素列(下位記述)と線分列(上位記述)の2階層で表現することにより、線分レベルの図形構造に起因する大局的な変形の表現が可能になり、描画者の癖による変形や、図形の特徴を失わないために手書き過程に加わる制限なども考慮した手書き過程のモデル化を行えた。

H I E R A R C H I C A L M O D E L O F F R E E H A N D D R A W I N G P R O C E S S

Nobuyuki KITA and Masahiro KAWAGOE

Electro-technical Laboratory

1-1-4, Umezono, Tsukuba Science City, Ibaraki, 305, Japan

A method of modeling the process of freehand drawing a figure is described. Initially an ideal figure is resolved into strokes which are represented by a two-layer hierarchical structure. The first layer representation is the sequence of line segments of the figure, and the second layer is the sequence of short segments of which the first layer segments consist. This hierarchy makes it possible to treat both global distortions and local distortions. In order to simulate a freehand drawing of the figure, one segment of the ideal is transformed at a time. The transformed line segments affect the later transformations. The method can simulate the distortions produced by drawer's habits and the resulting changes necessary to maintain the important features of the figure.

1. はじめに

柔軟なマンマシンインタフェースが望まれる現在、手書きメモやラフスケッチなど大きく変形した図形の認識技術の開発が期待されている。文字認識や図面認識に関する研究の結果、ある程度丁寧に手書きされた図形の認識は可能となりつつあるが、大きく変形した図形を認識できるには至っていない。ところが人間はこのように大きく変形した図形を認識できる。これは手書き過程を思い浮かべながら変形が妥当なものであるか否か検証することによって認識しているためである。そこで手書き過程をモデル化し、手書き図形に生じる大きな変形を解析することは、手書き図形認識への有効な手掛かりを与えると思われる[1,2]。

手書き過程のモデル化の1つに、図形を描くための一連の手の動き（描画プラン）をペンの上げ下げと線素系列で表現し、それに対して線素単位で逐次的に変化を与えることによって変形した図形を生成する手法[3]がある。この手法では線素に加える変化を前後の線素の関数とすることにより、手書き過程で加わる平滑化や、大幅なずれからの復元を表すことができる。しかし、手書き過程で加わる変形には、線素列に加わる変化では表せない線分レベルの図形構造に起因する変形がある。

そこで、本論では描画プランを線素列（下位記述）と線分列（上位記述）により階層的に表現し、線分単位で逐次的に変形を加えることによりこのモデル化を可能にした。これにより、手書き過程をより忠実にモデル化することができるだけでなく、描画者の癖による変形や、図形の特徴を失わないために手書き過程に加わる制限なども表すことができた。

以下、2章で手書き過程のモデル化手法、3章でモデルの表現法、4章でモデルの計算機上での実現手法について述べ、5章でモデルによる手書き図形の生成結果を示し、最後に結論を述べる。

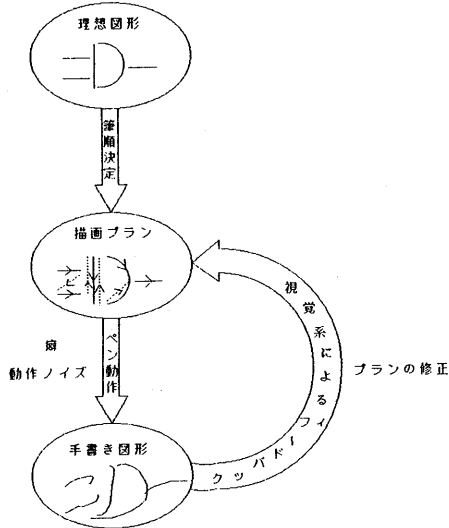


図1 手書き過程の捉え方

2. 手書き過程のモデル化

手書き過程を図1のように捉える。まず、描こうとする図形に対して筆順を決定することにより、その図形を描くための一連の手の動作を想定する。これを描画プランと呼ぶ。次に、描画プランに従って逐次的にペンを動かして図形を描く。このとき癖や動作ノイズによる変形が加わる。また、先に描かれた図形は視覚系を通してフィードバックされることにより、後の描画プランを修正する。

この捉え方によって手書き過程を図2のようにモデル化する。まず、描きたい図形の記述に対して筆順を決定し描画プランを記述する。描画プラン記述は直線や円弧などの線分による上位記述と、線素による下位記述により階層的に表現する。次に、描画プランの線分ごとに着目し、変形操作を施して、手書き図形の記述の生成を逐次的に行う。

描画プランに線分単位で加えられる変形操作は、その線分プランが制約条件を持つか否かにより異なる。制約条件とは図形にとって重要な特徴が変形後も失われないために描画プランに付けられた制約である。線分プランが制約条件を持つ場合は、既に描かれた手書き図形を参照することにより、制約条件を満たすようにプランを修正した後、動作ノイズによる変形が加えられる。制約を持たない場合は、癖による変形と、動作ノイズによる変形が加えられる。

さて、これによるとAND記号の手書き過程のモデル化は図3のようになる。まず①では、AND記号の図形記述に対して筆順が決定され、描画プランの記述

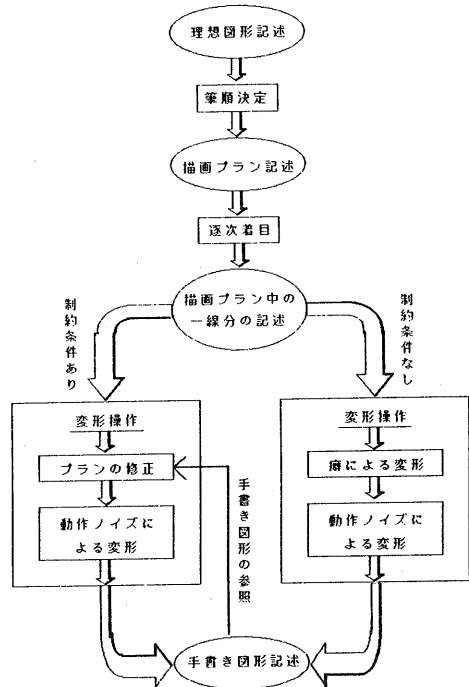


図2 手書き過程のモデル

が作られる。次に②では、描画プランの第一の筆順の線分に着目し、癖による変形と動作ノイズによる変形が施され手書き図形の記述が作られる。さらに③では、描画プランの第一線分と第二線分との接続点に着目し、その記述に癖と動作ノイズによる変形が施される。④以降同様に手書き図形記述が生成されて行くが、⑤と⑥では着目した線分が制約条件を持つため、まず描画プランの修正が行われる。⑦での円弧の描画プランを持つ制約条件は、閉図形特徴を保持するために円弧の終点を先に描いた縦線の端点に束縛しろというものなので、⑦までで得られている手書き図形を参照することにより図3 aのように修正される。修正後の線分に対しては、癖による変形は加えられず、動作ノイズによる変形だけが加えられる。つまり①の描画プラン作成と、②から⑦までの逐次的な描画プランの変形操作により、AND記号の手書き過程をモデル化するのである。

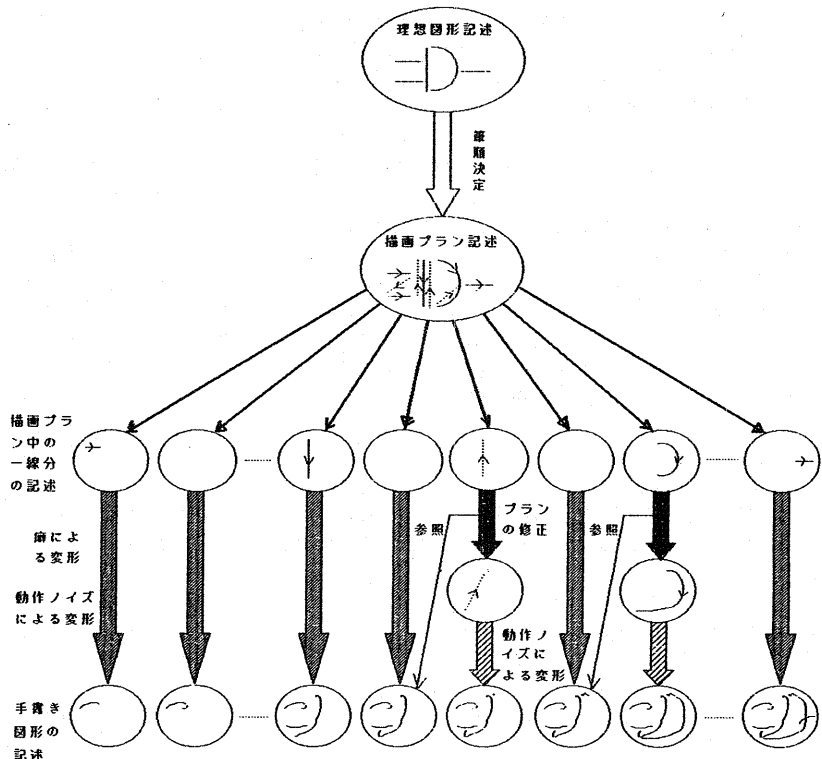


図3 AND記号の手書き過程のモデル化

描画プランに加わる変形には、図形特徴を失わないための描画プランの修正や、癖による変形の一部のように、線分単位で扱えるものと、動作ノイズや、癖による変形のもののように、線素単位で扱えるものがある。このため描画プランを線分による上位記述と線素による下位記述により図5のように階層的に表現する。

上位記述は理想図形記述中の線分フレームを筆順に従って並べ、その間に目には見えない影の線を記述するフレームや、線と線を接続する点を記述するフレー

3. モデルの表現

モデルの各要素について説明する。まず、理想図形と描画プラン及び手書き図形の表現について述べ、次に変形操作の表現について、最後に変形操作に影響を与える、描画プランの制約条件と描画者の特性の表現について述べる。

3-1. 理想図形の表現

これは直線と円弧で近似した理想的な図形を図4のように表現したものであり、各要素はそれぞれフレームで記述する。この記述は先に我々が発表した例示図形からの記号モデルの学習手法[4]によって得られる図形モデルの記述と等価である。また、記号など意図を伝えるために描かれる図形は、被伝達者が容易に認識できるよう、あるいは誤認識しにくいようにその記号にとって必要不可欠な特徴を持つ場合が多いが、そのような特徴を記述するフレームには必須であることを明記しておく。例えば図4においては、半円形フレームにそれが閉じていることが必須であると記述されている。

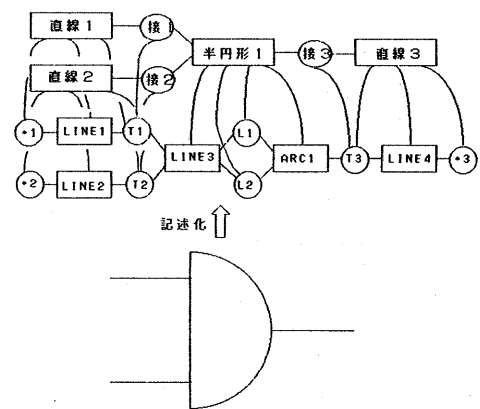


図4 理想図形の記述

3-2. 描画プランと手書き図形の表現

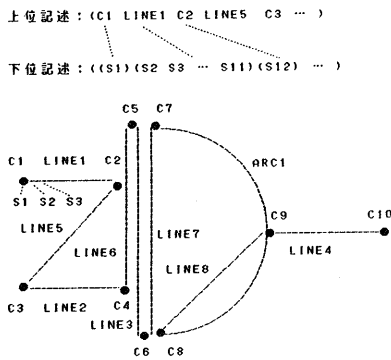
ムを補ったものである。下位記述は上位記述の要素を単位時間あたりに進む長さで線素の列に分解したものである。線素は線素フレームで表現し、直前の向きに対する相対的な向きの変化(direction)と長さ(length)とペンの上げ下げ(updown)を属性として持つ(図5b)。図形にとって必要不可欠な特徴は線分フレームあるいは接続点フレームに制約条件として付加される。現在のところ描画プランは、理想図形の記述に筆順と描画スピードを対話的に与えて半自動的に作成しており、筆順決定過程のモデル化は行っていない。

手書き図形の記述は、描画プランを変形することにより生成するが、その表現は、線素フレームに絶対的な位置と向きに関する属性が付け加えられていることを除いては、描画プランの表現と等しい。

3-3.変形操作の表現

描画プランの変形には、制約条件による修正と癖による変形と動作ノイズによる変形の3つがあるが、これらを実現するための操作はすべて個々の独立した手続きとして表現する。

◇ 制約条件による描画プランの修正操作



(a) 描画プランの階層記述

LINE1	
class	LINE
part-of	AND1
part	(S2 S3 ... S11)
direction	0.0
length	40.0
penup/down	1
constraint	nil

S1	
class	ELEMENT
part-of	LINE1
direction	0.0
length	4.0
penup/down	1

(b) 要素フレームの記述

図5 描画プランの記述

図形にとって必要不可欠な特徴を失わないために描画プランに加えられる修正であり、制約条件を持つ線分あるいは接続点に、線分レベルで作用する変更手続きとして実現される。この変更手続きは、既に描かれた部分の手書き図形を参照して、これから描く部分のプランを制約条件を満たすように線分レベルで修正する。これについては3.4節で詳しく述べる。

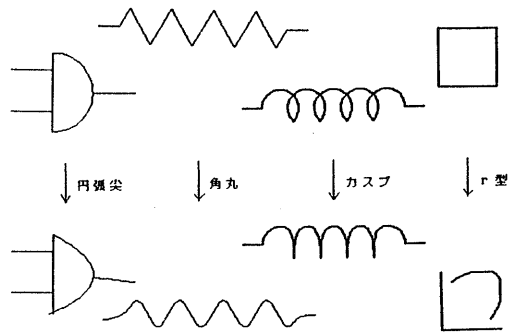
◇ 癖による変形操作

癖には特定の動作に関してのみ現れるものと、描画動作全体に現れるものがある。前者は例えば円弧を尖らせて描くといった癖で、これによる変形は線分レベルで描画プランに作用する図形要素に固有の変更手続きとして表現される。後者は、例えば全体に右に傾けて描くといった癖で、これによる変形は描画プランに対して線素レベルで作用する変更手続きとして表現される。

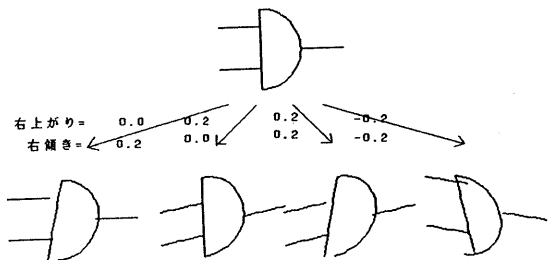
図6に描画プランに癖による変形操作を加えて得られる図形を示す。

◇ 動作ノイズのための変形操作

動作ノイズによる変形には図7に示すように様々なものがあるが、これらは描画プランを構成する線素の属性値にランダムなノイズを加える操作により表現できる。よって、動作ノイズのための変更手続きは、式(1)~(3)により線素の各属性値に加えるノイズを算出し属性値を変更する関数として定式化する。以下



(a) 線分レベルの変形



(b) 線素レベルの変形

図6 癖による変形

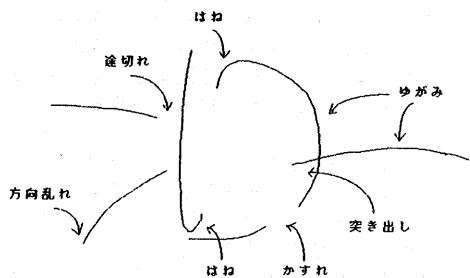


図7 動作ノイズによる変形の種類

random: 平均0、分散1の正規乱数

α, β, γ : 描画者により決まるパラメータ

とする。

・方向ノイズ: n_1

線素の向きの変化directionに加わるノイズで、線分のゆがみや角での方向変化の乱れを表す。

$$n_1 = f(\text{direction}) \cdot \text{random} \dots (1)$$

とする。f(direction)として図8に示す関数を採用したのは、人間が直線や直角変化及び方向転換に関して敏感であることをモデル化するためである。

・長さノイズ: n_2

線素の長さlengthに加わるノイズで、途切れや突き出しを表す。

$$n_2 = \beta \cdot \text{length} \cdot \text{random} \dots (2)$$

とする。ノイズの分散は線素の長さに比例する。また線素の長さは線分を描くスピードを表す。従ってゆっくりと描いた線分ほど長さの乱れを受けにくいことを表している。

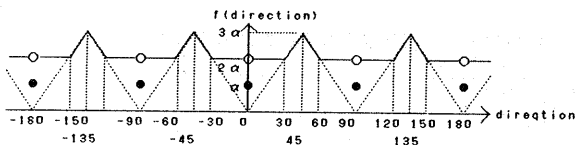


図8 方向ノイズのための関数

・上げ下げノイズ: n_3

ペンの上げ下げに関する変形は“かすれ”や“はね”であるが、これらは個々の線素のペンの上げ下げ値をランダムに変化させることでは表せず、前後の線素のペンの上げ下げ値も考慮しなければならない。ここでは、ペンの属性値が0から1に、あるいは1から0に変化しているところで、ペンの上げ下げのタイミン

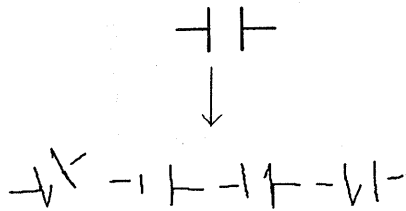


図9 ペンの上げ下げノイズによる変形

グを

$$n_3 = \text{INTEGER}(\gamma \cdot \text{random}) \dots (3)$$

で求めた線素の数だけずらすことにより“はね”をモデル化した。ここでINTEGERは整数化関数である。これの効果を図9に示す。

3-4. 制約条件の表現

図形にとって必要不可欠な特徴を変形後も失わないための条件を、描画プランの線分フレームの制約属性値として表現する。具体的には次のような形で記述する。

(制約名 [引数1 [引数2 [……]])

引数は線分や接続点、あるいはその特徴点である。例えば図5において半円部が閉図形であることが必要不可欠な特徴であるとすれば、

LINE₇の制約属性の値が

(keepEnd (start LINE₃))

ARC₁の制約属性の値が

(keepEnd (end LINE₃))

となり、そのほかの要素フレームの制約属性の値がnilとなる。つまり、“LINE₇の終点をLINE₃の始点に束縛し、ARC₁の終点をLINE₃の終点に束縛せよ”ということである。このとき修正のための変更手続きは、LINE₇に対してその終点が既に変形されたLINE₃の始点にできるように属性値に変更を加え、それに伴ってLINE₇の低位記述を構成するS_mからS_nの属性値も変更する。ARC₁に対しても同様に作用する。

3-5. 描画者の特性の表現

図形を生成する際、どの様な癖でどれくらいの動作ノイズで生成するかは描画者の特性として表現する。具体的には、前述のパラメータ α, β, γ と、どの癖変更手続きを起動するかを属性として持つ描画者フレームにより記述される。

4. モデルの実現

本モデルは直線フレームや線素フレームなどの図形記述要素や、描画者のモデルなど、固有の手続きを持った多種の要素で構成されている。これは、システムを構成する全ての要素をデータと手続きを一体としたもの(オブジェクト)で表現するというオブジェクト指向の概念にうまく適合する。そこで手書き過程のモデルをオブジェクト指向言語の1つであるSmalltalk上で実現した。これにより、図形記述要素や、描画者のモデルなど全ての要素が、属性値をデータ(インスタンス変数)とし、固有の手続きを手続き(メソッド)とするオブジェクトで自然に記述できた。例えば円弧フレームを記述するオブジェクトは、インスタンス変数として半径や扇角などを持ち、メソッドとして円弧を尖らせる手続きや円弧の中心点を求める手続きなどを持つ。

図10にSmalltalkのウィンドウを通して疑似図形の生成を対話的に行っている様子を示す。あらかじめ理想図形の記述から対話的に作成した描画プランの中か

ら、サブウィンドウ①で描画図形を指示したあと、サブウィンドウ②で線分レベルの癖のための変形手続きを選択し、サブウィンドウ③で線素レベルの癖のための変形手続きのパラメータを決定し、サブウィンドウ④で動作ノイズによる変形のための関数のパラメータを決定する。ここでサブウィンドウ⑤に於て図形を描画したい点を指示すれば、モデルに従って描画プランの記述に変形を加え、それにより疑似手書き図形を生成し表示する。

5. 実験結果

図11にAND記号について、一定の筆順で、癖のない場合と癖のある場合2種類に対して、制約条件のある場合とない場合、さらに動作ノイズが大きい場合と小さい場合について、それぞれ疑似図形を生成した結果を示す。ここで用いた制約条件は、半円形を閉図形とするためのものであり、制約条件がある場合の結果とない場合の結果を比べると、この効果は明かである。また、癖のある場合の結果は、ない場合の結果に比べて、傾向のある変形パターンを呈している。

さらに、図12にはこのモデルを文字図形‘田’に適用した結果を示す。ここで用いた制約条件は、中央の+型の各端点を正方形の四辺上に置くためのものであり、この制約条件のもとで得られた結果はどれも‘田’と認識できるようである。

6. 結論

手書き過程を、線素列と線分列で階層的に表現した描画プランに、線分単位で逐次的に変化を与える過程としてモデル化した。これにより、今まで不可能であ

った、線分レベルの図形構造に起因する大局的な変形の表現が可能となり、描画者の癖による変形や、図形の特徴を失わないために加わる制限なども表すことができ、手書き過程をより忠実にモデル化することができた。

また、モデルの実現環境としてSmalltalkを用いたことにより、高度にモジュール化したシステムとして実現でき、使いやすいインターフェースを通して種々の変形操作の試行を効率よく行えた。

今後は、モデルによって生成した疑似手書き図形を、実際の手書き図形と比較することによりモデルを評価し、そのモデルを使って、図形構造と変形との関係や、描画の丁寧さと変形の大きさとの関係などの解析を行う。さらに、今回は対象としなかった筆順決定過程のモデル化を行い、手書き図形からの筆順の推定を可能とすることにより、手書き図形認識へのステップとしたい。

【参考文献】

- [1]河越,喜多 ; “図面記号学習システムのための変形を含む図形の認識”,情処第32回全大,6N-5 (1986).
- [2]喜多,河越 ; “記号図形の手書き変形のモデル化”,情処第34回全大,2E-5 (1987).
- [3]近藤,アッタチュー ; “手書き文字の変動モデルとその表現能力の評価”,信学論,Vol. J69-D, No.1 (1986).
- [4]河越,喜多 ; “図面記号の学習理解”,情処知識工学と人工知能研究会,36-4 (1984).

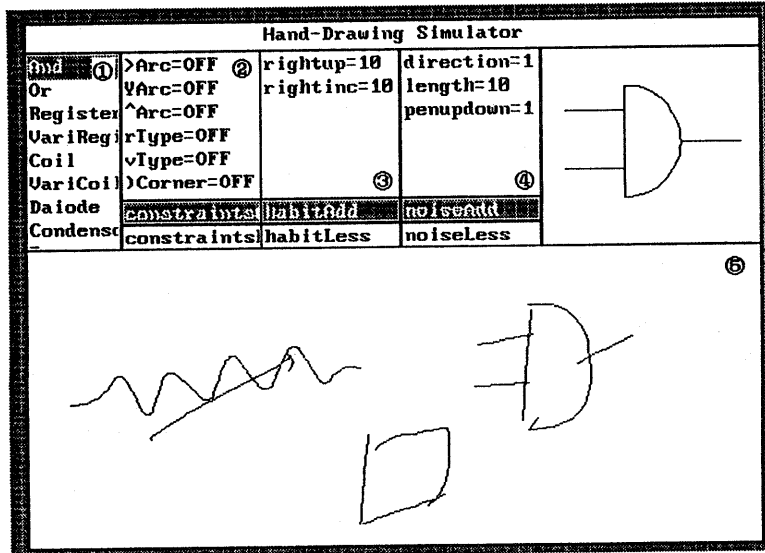
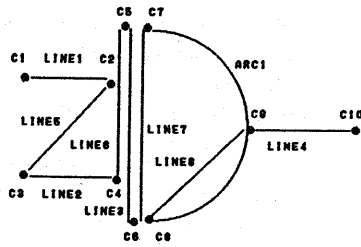


図10 手書き図形の疑似生成



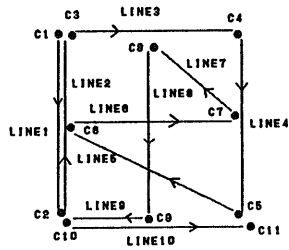
LINE7 : (keepEnd (start LINE3))
 ARC1 : (keepEnd (end LINE3))

(a) AND記号の制約条件

癖	制約条件	動作ノイズ	疑似手書き図形
なし	なし	$\alpha = 0.1$ $\beta = 0.1$ $\gamma = 1$	
		$\alpha = 0.2$ $\beta = 0.2$ $\gamma = 2$	
	(a)	$\alpha = 0.1$ $\beta = 0.1$ $\gamma = 1$	
		$\alpha = 0.2$ $\beta = 0.2$ $\gamma = 2$	
右上がり 右傾き	なし	$\alpha = 0.1$ $\beta = 0.1$ $\gamma = 1$	
		$\alpha = 0.2$ $\beta = 0.2$ $\gamma = 2$	
	(a)	$\alpha = 0.1$ $\beta = 0.1$ $\gamma = 1$	
		$\alpha = 0.2$ $\beta = 0.2$ $\gamma = 2$	
角丸	なし	$\alpha = 0.1$ $\beta = 0.1$ $\gamma = 1$	
		$\alpha = 0.2$ $\beta = 0.2$ $\gamma = 2$	
	(a)	$\alpha = 0.1$ $\beta = 0.1$ $\gamma = 1$	
		$\alpha = 0.2$ $\beta = 0.2$ $\gamma = 2$	

(b) 疑似手書き図形

図11 AND記号の疑似手書き図形



LINE2 : (keepEnd (start LINE1))
 LINE5 : (keepEnd (middle LINE1))
 LINE6 : (keepEnd (middle LINE4))
 LINE7 : (keepEnd (middle LINE3))
 LINE8 : (cross (start LINE6)
 (end LINE6))
 LINE9 : (keepEnd (end LINE1))
 LINE10 : (keepEnd (end LINE4))

(-) 内の制約条件

癖	制約条件	動作ノイズ	疑似手書き図形
なし	なし	$\alpha = 0.1$ $\beta = 0.1$ $\gamma = 1$	
		$\alpha = 0.2$ $\beta = 0.2$ $\gamma = 2$	
	(a)	$\alpha = 0.1$ $\beta = 0.1$ $\gamma = 1$	
		$\alpha = 0.2$ $\beta = 0.2$ $\gamma = 2$	
右上がり 右傾き	なし	$\alpha = 0.1$ $\beta = 0.1$ $\gamma = 1$	
		$\alpha = 0.2$ $\beta = 0.2$ $\gamma = 2$	
	(a)	$\alpha = 0.1$ $\beta = 0.1$ $\gamma = 1$	
		$\alpha = 0.2$ $\beta = 0.2$ $\gamma = 2$	
角丸 r型	なし	$\alpha = 0.1$ $\beta = 0.1$ $\gamma = 1$	
		$\alpha = 0.2$ $\beta = 0.2$ $\gamma = 2$	
	(a)	$\alpha = 0.1$ $\beta = 0.1$ $\gamma = 1$	
		$\alpha = 0.2$ $\beta = 0.2$ $\gamma = 2$	

(b) 疑似手書き図形

図12 田の疑似手書き図形