

## The Artist's Intentions and Genetic Coding in Algorithmically Generated Drawings

### Le intenzioni dell'artista ed la codificazione genetica in disegni generati tramite algoritmi

Hans E. Dehlinger

Ph.D. (UC Berkeley), Professor,  
Department of Product Design and  
Director of the Institute "Design - Kunst - Computer" at the University of Kassel  
dehling@hrz.uni-kassel.de

#### Abstract

L'opera d'arte, basata sul disegno di linee, per molte ragioni è una sfida. Si tratta di una forma d'arte molto ridotta, che si basa e sfrutta le sole qualità calligrafiche. Si lega più alla scrittura che al disegno e possiede un carattere di fugacità, attribuitole dai movimenti della mano con la penna. Con l'aiuto di alcuni programmi al computer, il disegno di linee può essere riprodotto, mostrando le sue specifiche qualità. Nel chiedersi come è composta una singola linea, possiamo disegnare (definire) delle analogie con la codificazione genetica e generare delle variazioni all'interno di una popolazione di linee appartenenti ad una stessa famiglia.

L'artista può raggruppare le sue intenzioni in un codice genetico specifico, ed i disegni che ne deriveranno, popoleranno un campo definito all'interno dell'universo dei disegni generati dalla macchina.

#### 1. Le linee ed il loro punto di partenza.

Nello status nascendi, quando la linea si sviluppa sul foglio di carta, lo fa da un unico punto di partenza, mettendoci le radici. Il punto di partenza è quello che porta alla prima decisione nel processo di disegno e non importa che sia la mano dell'artista o il congegno disposto dal computer a guidare la penna. Nelle analisi dei processi generativi per linee, ci poniamo di fronte, in modo abbastanza naturale, a due domande: primo, la questione dei punti di partenza, la loro distribuzione ed il loro lato razionale; secondo, il carattere del-

#### Abstract

Art-work, based on line drawings, is challenging for a number of reasons. It is a very much reduced art form relying on and exploiting the calligraphic qualities of lines only. It is more related to writing than to painting and it has a transient element in it, which is attributed to the movements of the pen equipped hand. With the aid of computer programs line drawings can be produced, exhibiting very specific qualities. In asking what a single line is composed of, we may draw analogies to genetic coding and generate variations within a population of lines belonging to the same family. An artist can cast his intentions into the definition of such a genetic code and the drawings produced accordingly will populate a specific domain of the universe of machine generated drawings.

#### (1) Lines and their starting points

In statu nascendi, when the line is developing on a piece of paper, it does so from a unique starting point where it is rooted. It is the starting point which calls for the first decision in a drawing process, no matter if the hand of an artist or a computer driven device is steering the pen. In an analysis of generating processes for lines we are faced quite naturally with two questions: the question of starting points, their distribution and the rationale behind on the one hand side and the the question of the character of the line, its expressions, the ways it expands

la linea, la sua espressività, i modi d'espansione dal punto di partenza nel piano, le sue qualità calligrafiche etc.. Esistono varie risposte a queste due domande. Le linee sono degli elementi molto semplici per l'espressione artistica, e sono state utilizzate dagli artisti da quando loro esistono. Noi possiamo già trovarle nei disegni sulle rocce intagliate utilizzate dai cacciatori nell'età della pietra.

## 2. Genotipi e fenotipi.

La fantastica ricchezza dell'universo del disegno a mano, delle linee e dei tratti che lo producono, non è facilmente descrivibile in modo limitato e formale, ma tali descrizioni sono condizioni necessarie per progettare degli algoritmi per generare linee. Si deve assumere una posizione riduttiva per raggiungere questo scopo, per esempio omettere tutte le questioni semiotiche riducendo le linee ed i tratti alle loro proprietà geometriche bidimensionali. Rimane comunque una vasta gamma di differenti espressioni per le linee ed i tratti. Potremmo vedere questa vastità di possibili espressioni come un insieme genetico da cui emergeranno i disegni.

Possiamo anche pensare ad una singola linea come membro di una famiglia, da cui erediterà una serie di tratti definiti dall'insieme genetico. La struttura di una famiglia di linee (in termini biologici, il genotipo) è decodificata da un insieme di valori morfologici, da cui saranno generati differenti membri individuali della stessa famiglia (i fenotipi).

In un singolo disegno, solo una frazione di un possibile insieme genetico nascosto potrà essere visibile. Un artista che fa ricorso alle linee e ai tratti in un disegno, può essere considerato come se stesse utilizzando un programma unico e personale, e con l'aiuto di questo programma, l'artista può generare "un'intera famiglia di disegni" - un insieme di fenotipi con varie proprietà comuni - che sarà strettamente legata agli algoritmi che guideranno "il programma." Ci sono dei disegni di artisti che seguono un programma piuttosto ristretto come "eseguire tratti corti e potenti", o "procedere con movimenti circolari", o

from the starting point into the plane, its calligraphic quality etc. on the other hand side. There are many answers to both questions. Lines are very simple elements of artistic expressions, and they have in fact been used by artists since artists are around. We find them already in drawings on the carved stones used by stone age hunters way back in history.

## (2) Genotypes and phenotypes

The fantastical richness of the universe of hand drawings and the lines and strokes which produce them is not easily describable in a strict and formal way, but such descriptions are a necessary condition for the design of line generating algorithms. One has to assume a reductionistic position to achieve this goal, for example by omitting all semiotic questions and reducing lines and strokes to their two-dimensional geometric properties. And still we are left with a vast array of different expressions for lines and strokes. We may view this vastness of possible expressions as a sort of genetic pool from which drawings emerge. We may also think of a single line as being a member of a family from which it inherited a set of traits drawn from such a genetic pool. The structure of a family of lines (in biological terms the genotype) is decoded into a set of feature values from which the different individual members of such a line family (the phenotypes) are generated. In a single drawing only a fraction of the potential hidden in the genetic pool will become visible. An artist resorting to lines and strokes in a drawing can be thought of as using a unique and very personal "program" to do so, and with the aid of this program the artist may generate an entire "family of drawings" - a set of phenotypes with many common properties - which is closely related to the "algorithms" driving the "program". There are drawings by artists which follow a rather narrow program like "perform short and powerful strokes" or, "go about in circling movements" or, "zigzag with narrow lines" and so on. The term "program" is used here in a somewhat loose definition to describe what the artist himself is doing but we will tighten up the

“zigzagare con linee sottili” e via dicendo. Il termine “programma” è utilizzato qui con una definizione in qualche modo blanda nel descrivere quello che l'artista sta effettivamente facendo, ma la approfondiremo più avanti. Si rende ovviamente possibile la realizzazione di una certa quantità di tali programmi capaci di caratterizzare e descrivere delle linee generate in modo formale. La loro formulazione, la loro logica, la loro giustificazione e la loro applicazione, determinano una estensione significativa delle caratteristiche del disegno generativo. Sotto questo aspetto osserviamo un legame stretto tra questi programmi e quelli utilizzati nell'informatica. Da questa posizione quindi, con un piccolo sforzo, possiamo arrivare alla formulazione di algoritmi, utilizzando delle descrizioni strettamente formali per generare delle linee e dei disegni, con l'aiuto del computer.

### 3. Algoritmi genetici

Per la scelta degli algoritmi che guideranno il processo di generazione, quelli genetici, ed i concetti che li sottintendono, sono dei candidati interessanti. Gli algoritmi genetici [1] utilizzano la scelta casuale e le operazioni stocastiche per migliorare l'abilità di una popolazione nel sopravvivere, rispetto a certe misure di sopravvivenza date.

Come esempio di un “approccio genetico”, utilizzo un disegno che era stato programmato nel 1983 [2],[3], che consiste in una popolazione di figure semplici, composte da un sottogruppo di 12 linee dritte e corte che hanno una posizione fissa all'interno di un quadrato, come in figura [1]. Visto che esistono

definition later. It obviously is possible to conceive quite a number of such programs which are able to characterize and describe the generated lines in a sort of formal way. Their formulation, their logic and justification and their application determine to a significant extend the characteristics of the generated drawing. In that respect we observe a close relation of this type of program to the programs as used in computing. From this position then, with a little effort, we can move to the formulation of algorithms using strictly formal descriptions to generate lines and drawings with the aid of computer programs.

### (3) Genetic algorithms

For the choice of algorithms driving the generation process itself, genetic algorithms and the concepts behind them are interesting candidates. Genetic algorithms [1] make use of random choice and stochastic operations to improve the ability of a population to survive relative to some given measure of survival. As an example for the “genetic approach” I am using a drawing, which was programmed in 1983 [2] [3] and which consists of a population of simple figures composed of a subset of 12 short and straight lines which have fixed positions in a square, and which is shown in Fig.[1]. Since there are 12 possible lines to a figure, we may think of such a figure as being produced by a binary string of twelve positions each of which may carry a 1 (for: draw a line) or a 0 (for: no line). Fig.[2] shows two members of the population with their corresponding binary strings (their chromosomes). In Fig.[3] we have a larger

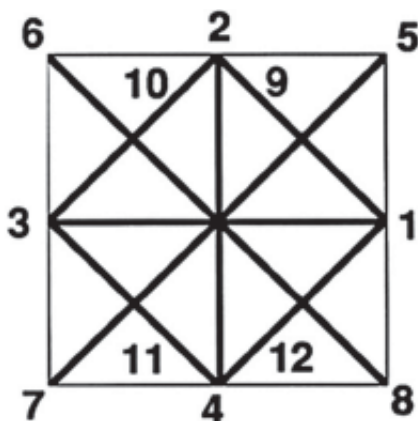
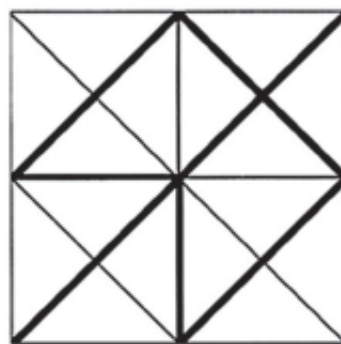
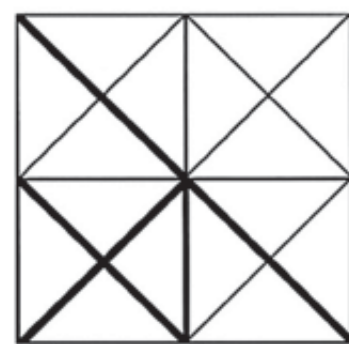


Fig.[1]



111100011100

Fig.[2]



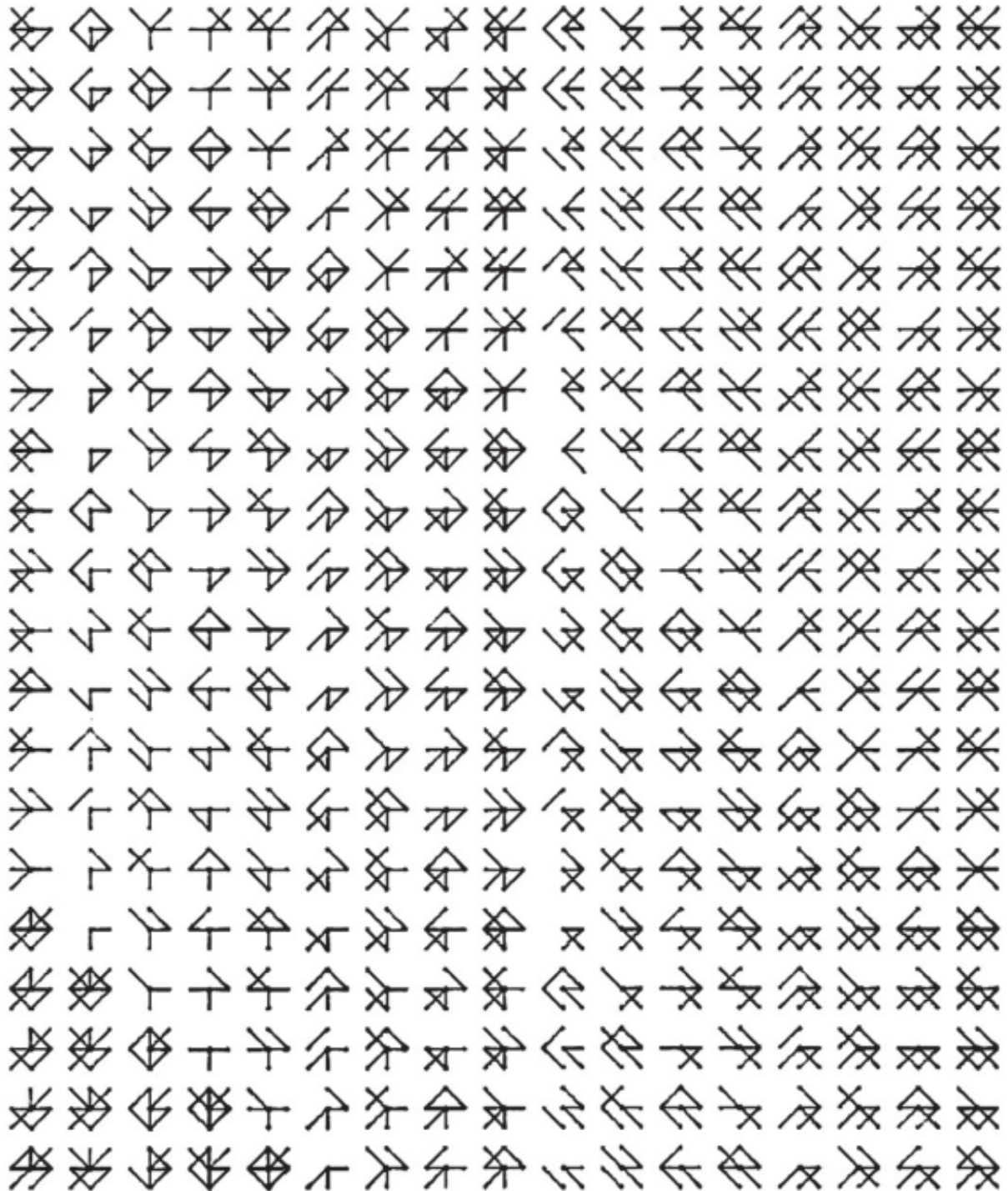
000011101100



dodici possibilità di linee per figura, possiamo pensarne una come se fosse stata definita da una "stringa" binaria di 12 posizioni, ognuna delle quali può essere ricondotta a 1 (per disegnare una linea) o a 0 (non la si disegna).

La figura [2] mostra due membri della popolazione con le loro "stringhe" binarie (i loro cromosomi). Nella figura [3] abbiamo una serie di individui non appartenenti alla popolazione delle 12 linee in un quadrato. Una "stringa"

collection of individuals out of the 12-lines-in-a-square population. A corresponding string of the above type is owned by each figure in the drawing, and it is the information contained in that string from which the figure is generated. There is a subset of figures where the lines do not intersect, and drawings can be generated to display only figures with no intersections. This is a handy example to show how we can introduce survival into the generating process. We may think of this as generating a population of



82

Fig.[3]

corrispondente al tipo sopracitato definisce ogni figura del disegno, ed è l'informazione contenuta in quella "stringa" che permette la generazione della figura. Ci sono dei sottogruppi di figure dove le linee non s'intersecano, ed i disegni possono essere generati per ottenere solo figure senza intersezioni. Questo è un esempio semplice per mostrare

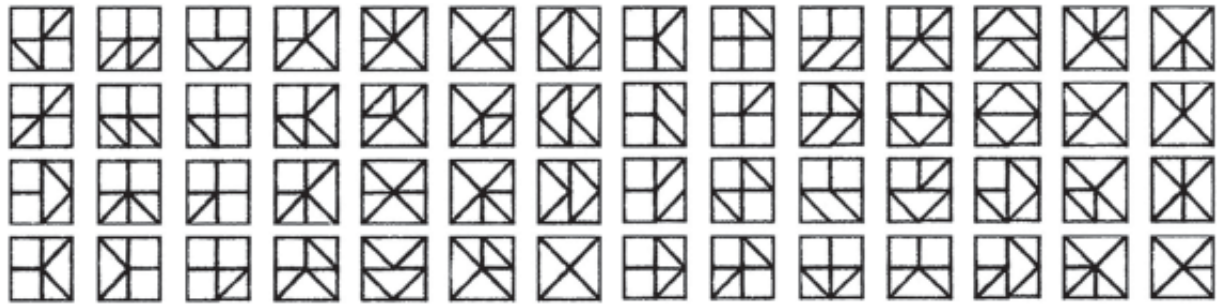


Fig.[4]

l'introduzione della sopravvivenza in questi processi generativi. Possiamo pensare a questo come alla generazione di una popolazione di figure che sia soggetta ad una misura necessaria per sopravvivere (es. senza intersezioni!).

Nell' applicare tale regola , possiamo ottenere risultati come quello in figura [4].

#### 4. Le intenzioni dell'artista.

Nell'esempio suddetto, sono state utilizzate solo linee corte, dritte e posizionate all'interno del quadrato. Si potrebbe espandere questa idea ad altri tipi di linee e quindi utilizzare dei concetti più complessi. Questo è il punto dove l'artista deve iniziare l'analisi della vastità delle espressioni strutturali di linee e tratti, e di come interpretarle. Non è un caso se troviamo degli studi più approfonditi sulla linea, così come nei disegni, in vari artisti tra cui Klee, Kandinsky e Rodchenko. Secondo Kandinsky per esempio, la linea verticale è lo specchio della verticalità degli esseri umani [4]. Riconsiderando l'analogia biologica, l'obiettivo dell'artista è quello di progettare dei genotipi da cui possano emergere dei fenotipi. Nel definire gli aspetti dei genotipi, l'artista inquadra le sue intenzioni in strutture che permettano una vasta gamma di espressioni. Sfruttare la ricchezza di questa gamma con i suoi limiti, è uno dei traguardi dell'artista. I risultati

figures which was subjected to a strictly formulated measure of survival (e.g. no intersections!). Applying such a rule we get results like the one displayed in Fig.[4].

#### (4) The intentions of the artist

In the example above, short, straight and positioned lines only have been used. We may expand this concept to other types of

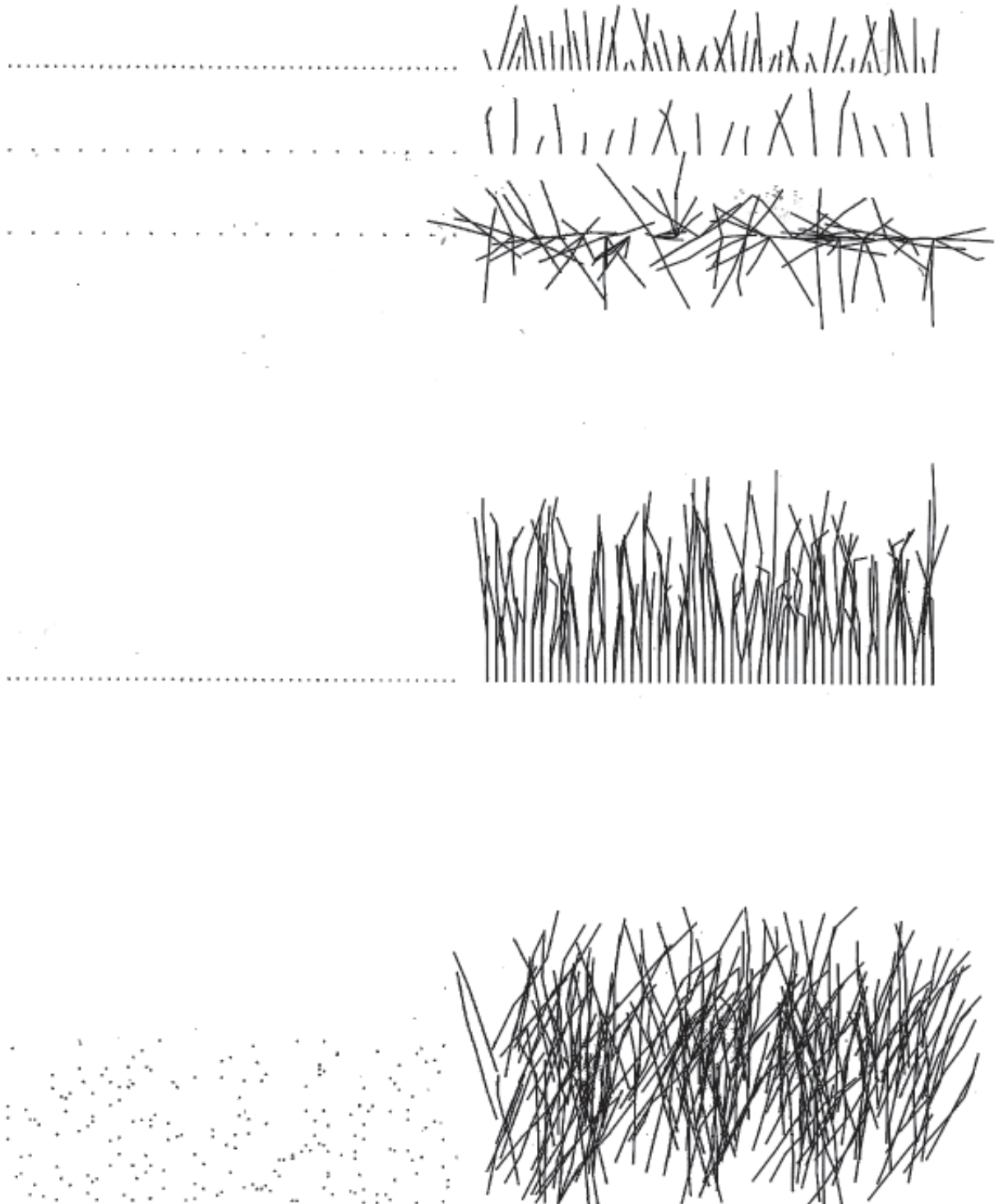
lines and make use of more complex concepts. This is the point where the artist has to start to analyze the vastness of structural expressions for lines and strokes and what they mean to him. It is not surprising then, that we find extensive investigations on the line as well as the drawing by many artists among them for example Klee, Kandinsky and Rodchenko. According to Kandinsky for example, the vertical line is a mirror of the verticality of human beings [4]. To stretch the biological analogy again, the task of the artist is the design of genotypes from which phenotypes can emerge. In defining feature for genotypes, the artist is casting his intentions into structures which allow a spectrum of expressions. To exploit the richness of this spectrum and its extremes is one of the goals of the artist. The generated results must show a correspondence between the intentions of the artist and the measures of quality he intends to apply. In the conception of the algorithms these intentions are modeled and mapped out for production. To give an example, such a drawing should: exploit the algorithmic techniques; be not reproducible by hand and deliberately show a machine dependency; achieve a type of line and structuring belonging to a distinct and unique universe of its own; exhibit strong calligraphic qualities; make the question "how was it done"? entirely unimportant on the

generati devono mostrare una corrispondenza fra le intenzioni dell'artista e le misure di qualità che intende applicare. Nella concezione algoritmica, queste intenzioni sono modellate e quindi "mappate" per una eventuale produzione. Per fare un esempio, un disegno dovrebbe: sfruttare le tecniche algoritmiche; non essere riproducibile a mano mostrando deliberatamente una dipendenza dalla macchi-

grounds of the displayed quality of the art-work.

### (5) Polygons as types of lines

From the vastness of possible structural descriptions of lines I have chosen the class of polygons. All my drawings are based on this type of line. A polygonal line is described by a string which contains feature which can





na; stabilire un tipo di linee e strutturarle secondo un unico e distinto universo; esibire delle forti qualità calligrafiche; porre la domanda "come e' stato fatto?", che non risulta importante nel campo delle qualità mostrate dell'opera d'arte.

### 5. Poligoni come tipi di linea.

Dalla vastità delle possibili descrizioni strutturali di linee, ho scelto la classe dei poligoni. Tutti i miei disegni sono basati su questo tipo di linea. Una linea poligonale è descritta da una "stringa" che contiene degli aspetti che possono cambiare valore.

Per avere un'idea su che tipo di struttura sono basati i disegni, si consideri per esempio la seguente scelta di aspetti ed i loro valori: np, ne, ap, as, ns, dove np è il numero di punti di partenza (fino a 2000); ne è il numero di linee originate in un punto (fino a 2000); ap è il limite angolare per un poligono ( da 0 a 360 gradi); as è l'angolo di crescita di un segmento ( da 0 a 360 gradi) e ns è il numero di segmenti in un poligono (fino a 200).

Dall'altra parte esiste una struttura che descrive le proprietà delle linee poligonali utilizzate, una "stringa" degli aspetti "ambientali" e dei valori associati ad essi, che sta formando il carattere dei disegni. Lo stesso "codice genetico" può produrre dei risultati sorprendentemente diversi al variare dei valori dell'ambiente di produzione, che nel caso dei disegni che sto sperimentando, è un plotter a penna.

In questo caso, assumono un particolare rilievo i seguenti parametri: P è il tipo di penna ( matita, penna a sfera, penna stilografica etc); S è la velocità della penna (da 10 cm / sec a 80 cm/sec); F è la forza (pressione) della penna (da 15g a 450g); A è l'accelerazione della penna (massimo 3.0 G); D è la dimensione (scala) del disegno e M è il supporto sul quale il disegno è trasferito ( foglio liscio, grezzo, patinato etc).

Per poter illustrare ciò di cui abbiamo discusso fino ad ora, il seguente campione di disegni ci può essere d'aiuto. La figura [5] mostra dei punti di partenza con le specie di linee che ne emergono. Nei primi quattro esempi di

take on various feature values. Consider for example the following string of features and feature values: np, ne, ap, as, ns, where np: number of starting points (up to 2000); ne: number of lines originating in a point (up to 2000); ap: angular boundary for a polygon (0 to 360 degrees); as: spread of a segment (0 to 360 degrees); ns: number of segments in a polygon (up to 200), to get an idea on which structure the drawings are based on. Besides the structure describing the properties of the polygonal lines used, another string of "environmental" features and associated feature values is shaping the character of the drawings. The same "genetic code" may produce surprisingly different results, depending on the settings of the values in the producing environment which is a pen plotter in the case of the drawings I am experimenting with. Mainly the following parameters are of relevance here: P: pen type (pencil, ball-point, ink pen etc.); S: speed of pen (10 cm/sec to 80 cm/sec); F: force (pressure) of pen (15 g to 450 g); A: acceleration of pen (maximum 3.0 G); D: dimension (scale) of drawing; M: medium to which the drawing is transferred to (soft, rough, glossy etc.). To illustrate some of the issues discussed so far the following sample drawings may be helpful. Fig.[5] shows starting points and specimens of lines emerging from them. The first four examples in this figure are generated from linearly sequenced point sets and the one on the bottom is using a point cloud. Fig.[6] is showing two populations of lines emerging from a small cloud of points. Fig.[7] shows different line families, all emerging from the same number of randomly distributed point sets with each family displaying different characteristics. Fig.[8] is similar to Fig.[7] but the lines all emerge from the same sequenced string of points. Fig.[9] and Fig.[10] are two experiments with a higher complexity. Fig.[11] through Fig.[15] all are composed of the same number of polygons emerging from the same point set but they differ in the feature values assigned to the polygons. Fig[16] shows a detail of a larger drawing plotted with a ball point. Further samples can be found in [5], [6], [7], [8], [9], [10].

questa figura, le linee sono generate da punti allineati in modo sequenziale, mentre in quello in basso sono generate da una nuvola di punti.

La figura [6] mostra due popolazioni di linee che emergono da una piccola nuvola di punti. La figura [7] mostra delle diverse famiglie di linee, tutte emergenti da uno stesso numero di punti distribuiti casualmente, dove ogni famiglia presenta caratteristiche differenti. La figura [8] è simile alla numero [7] ma tutte le linee emergono dalla stessa sequenza di punti. Le figure [9] e [10] rappresentano due sperimentazioni con un grado di complessità più elevato. Le figure da figura [11] a figura [15] sono tutte composte dallo stesso

### (6) Summary

Genetic algorithms and their underlying concepts allow to formulate interesting strategies for the generation of line drawings. To demonstrate the power of these strategies, examples of experiments from a programmed genotype have been shown and discussed. It seems worthwhile to follow this road with the construction of further genotypes.

Fig. [6]





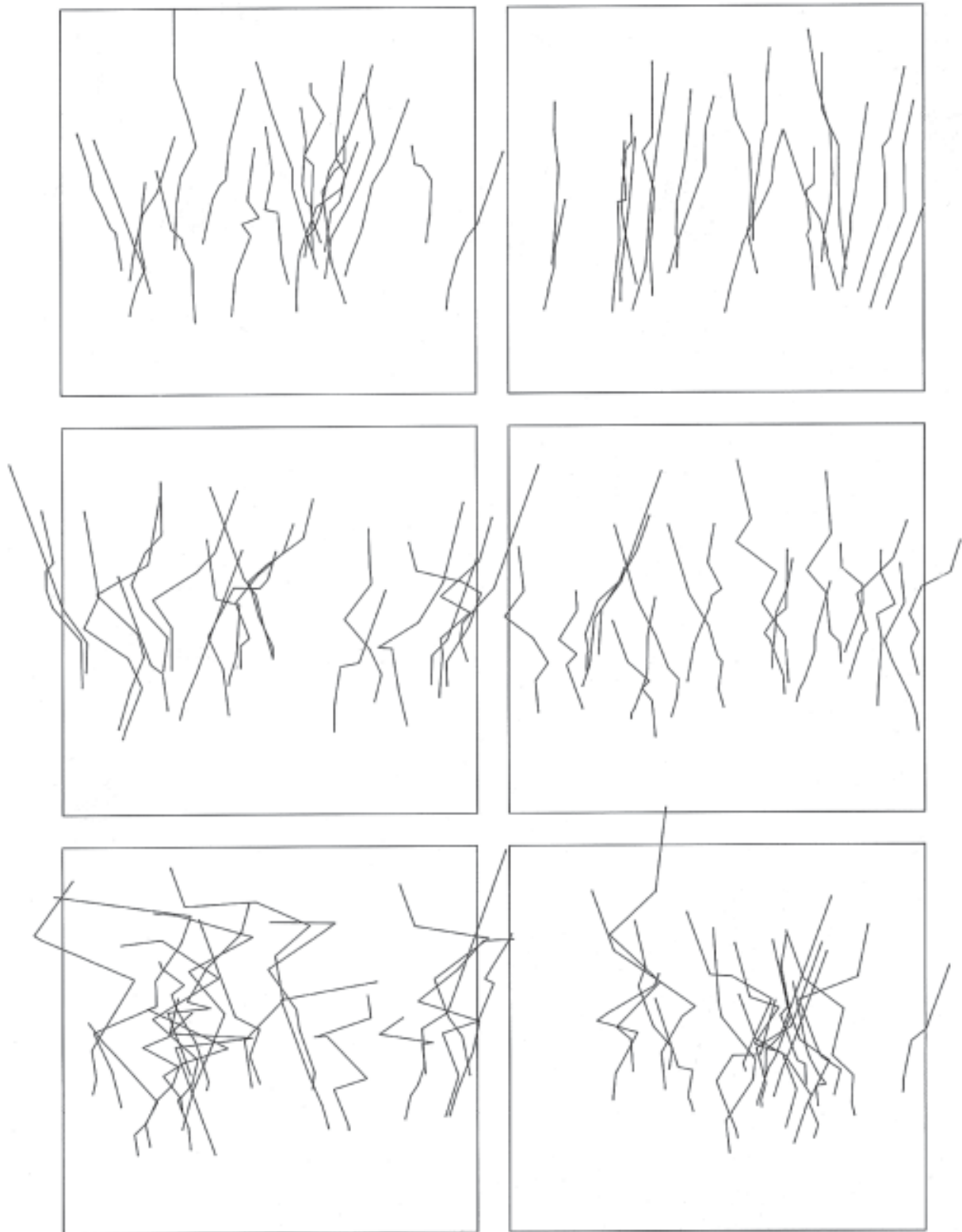


Fig. [7]

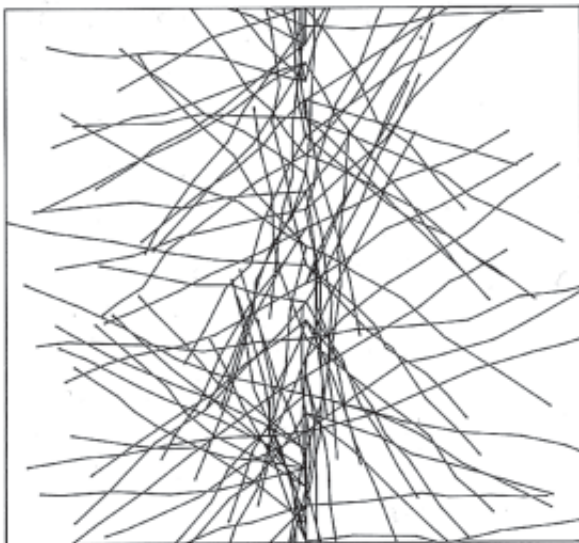
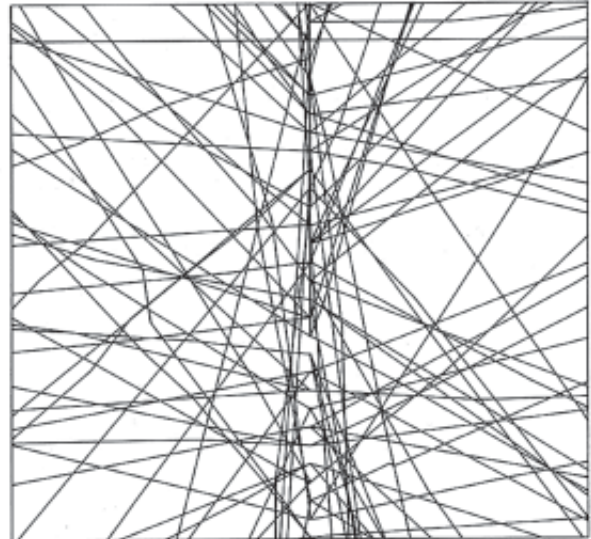
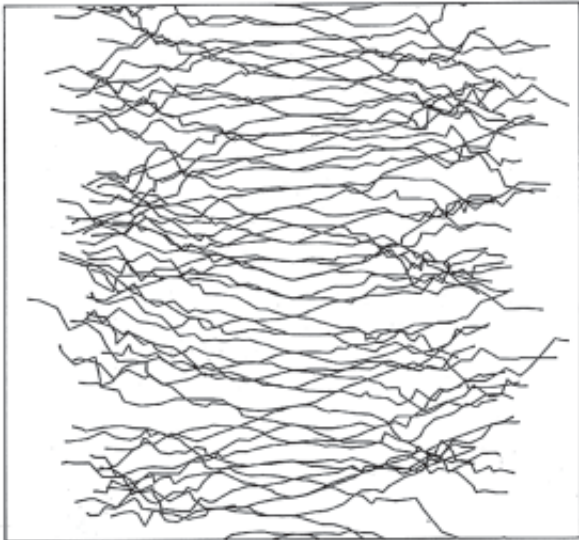
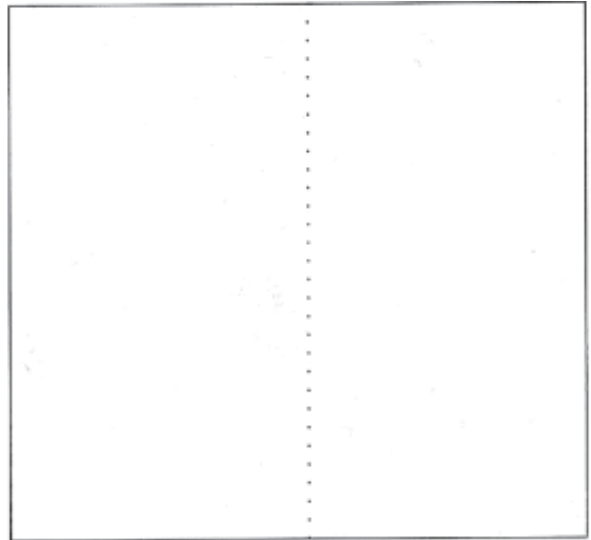
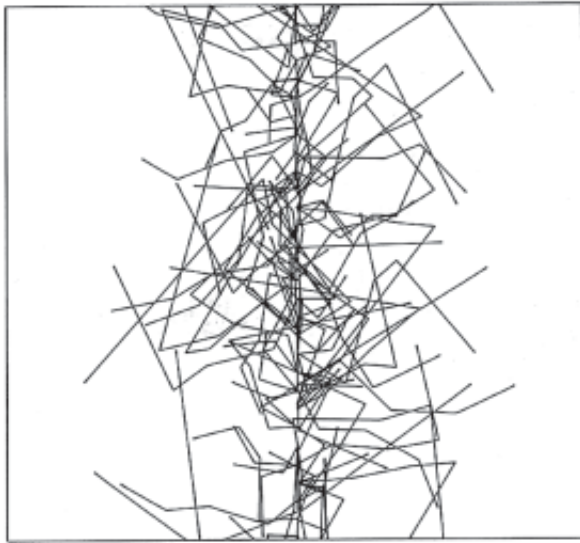


Fig. [8]

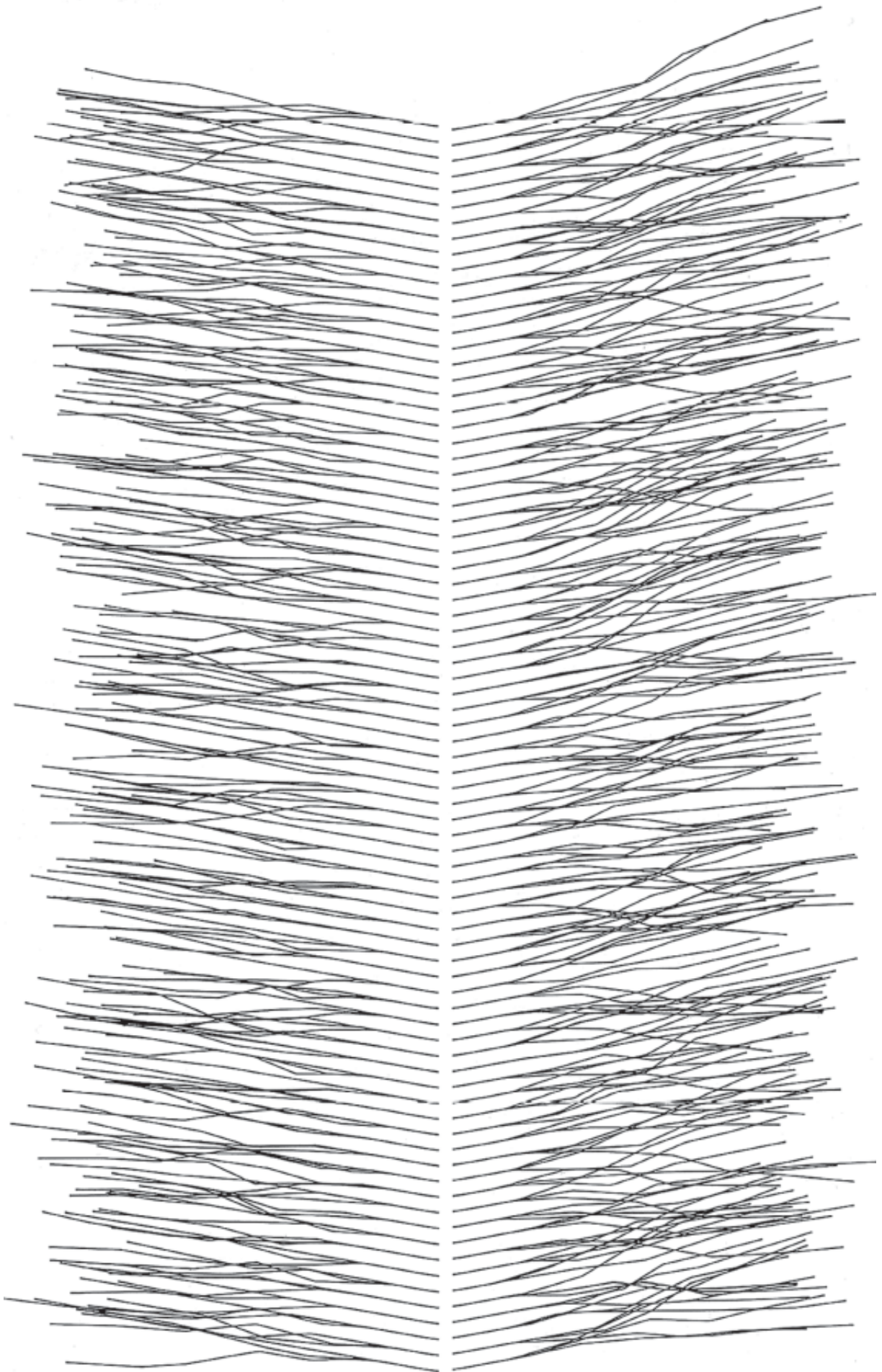


Fig. [9]





Fig. [10]

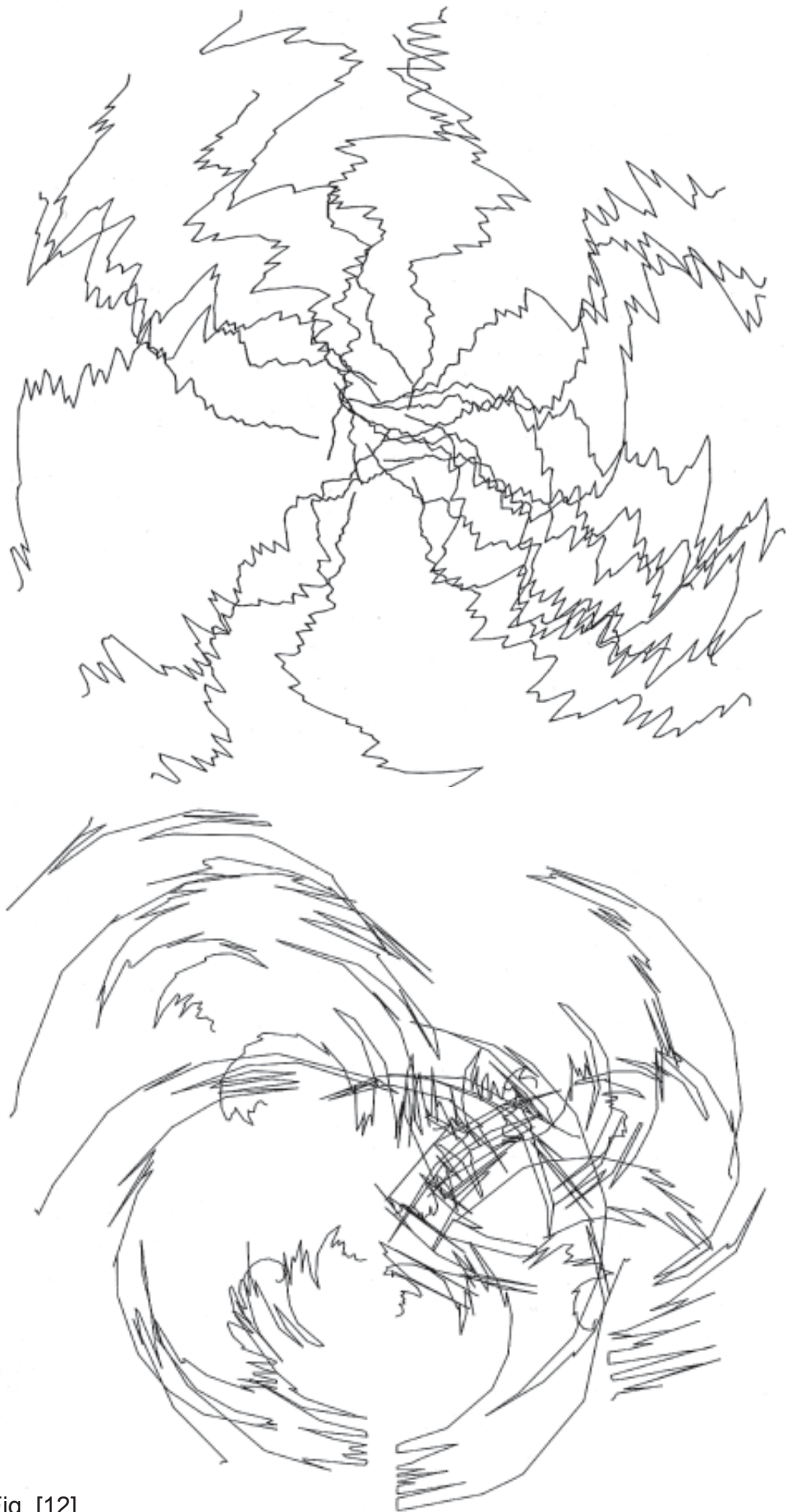


Fig. [11], Fig. [12]







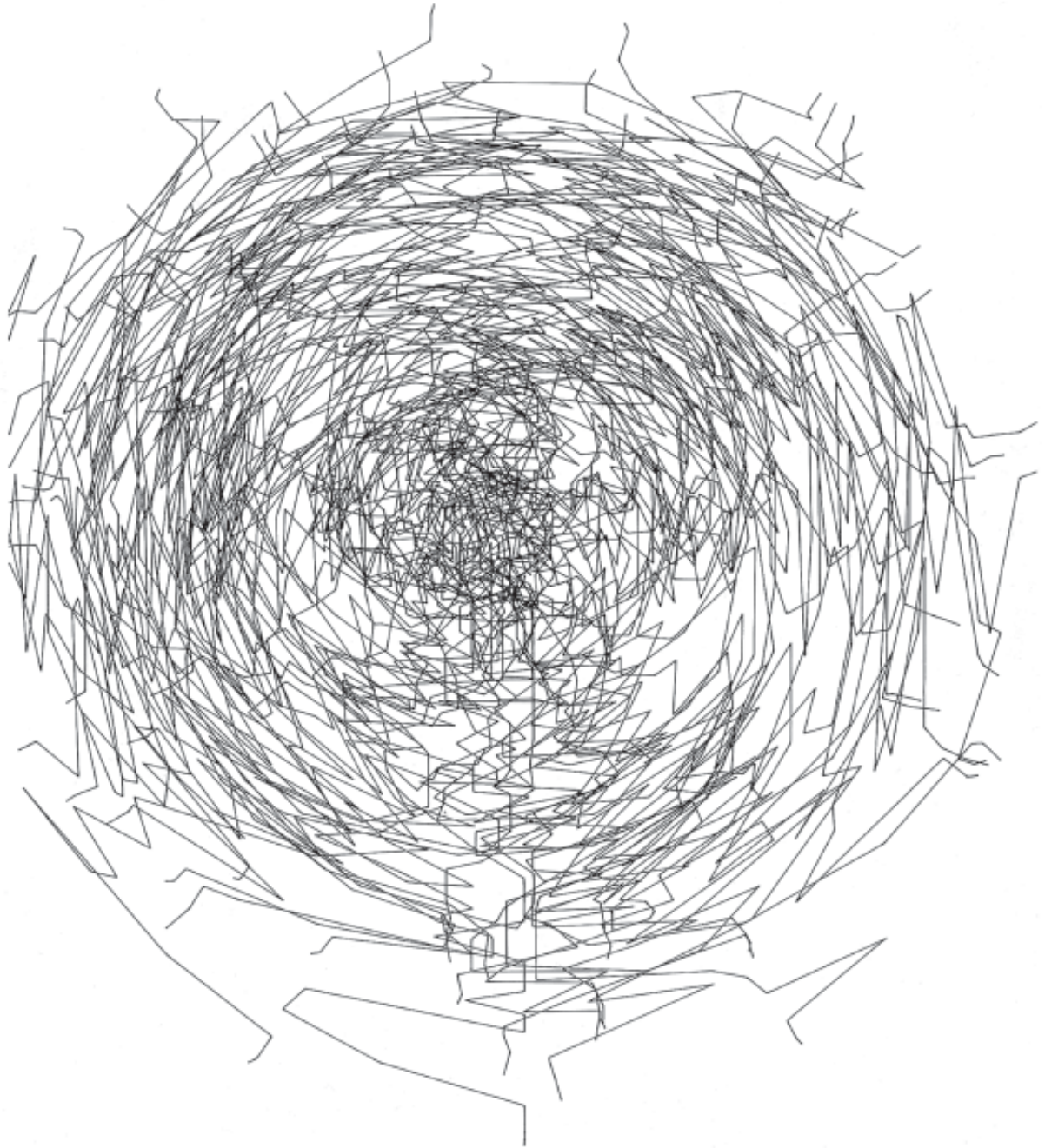
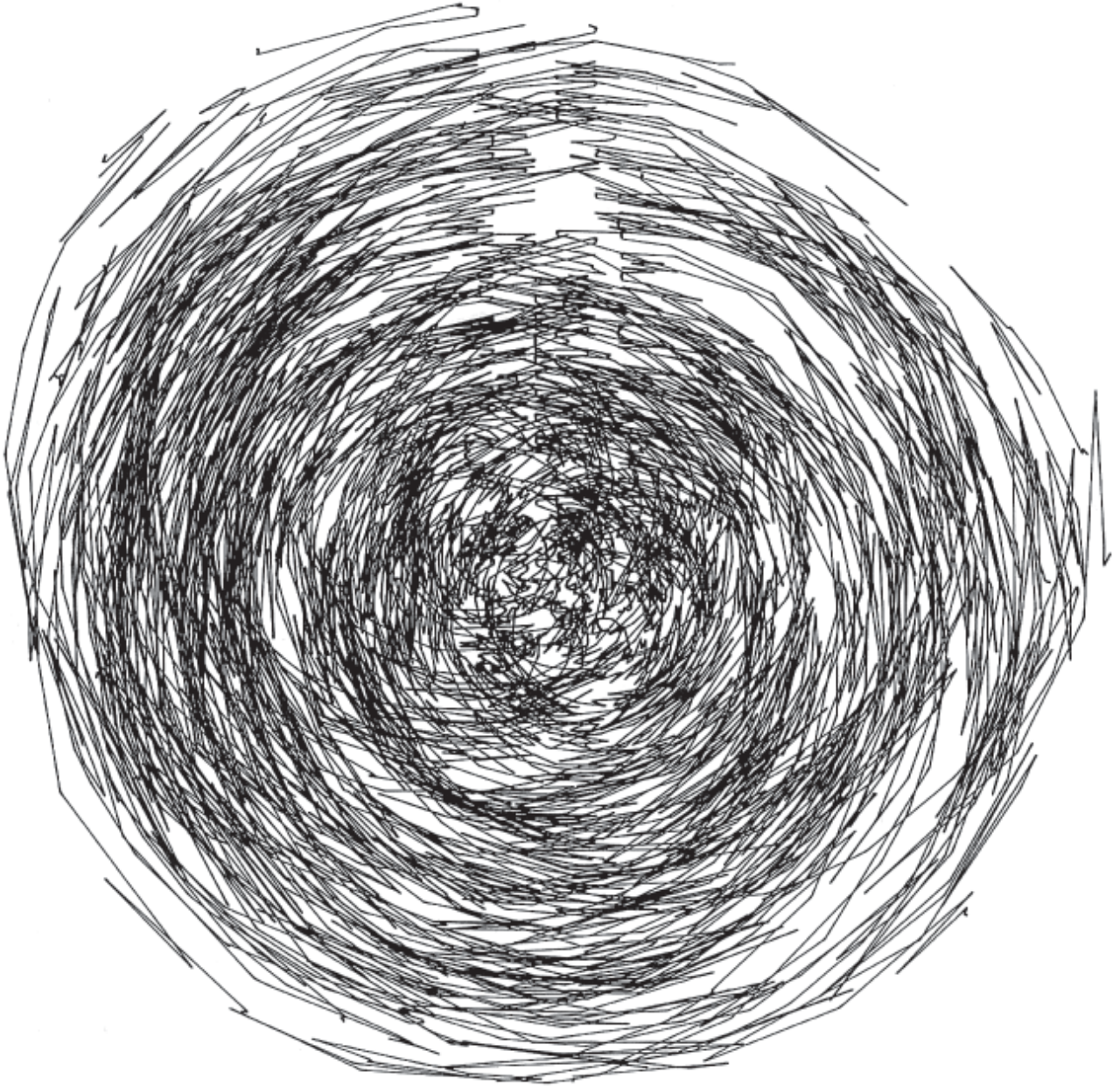


Fig. [14]



94

Fig [15]



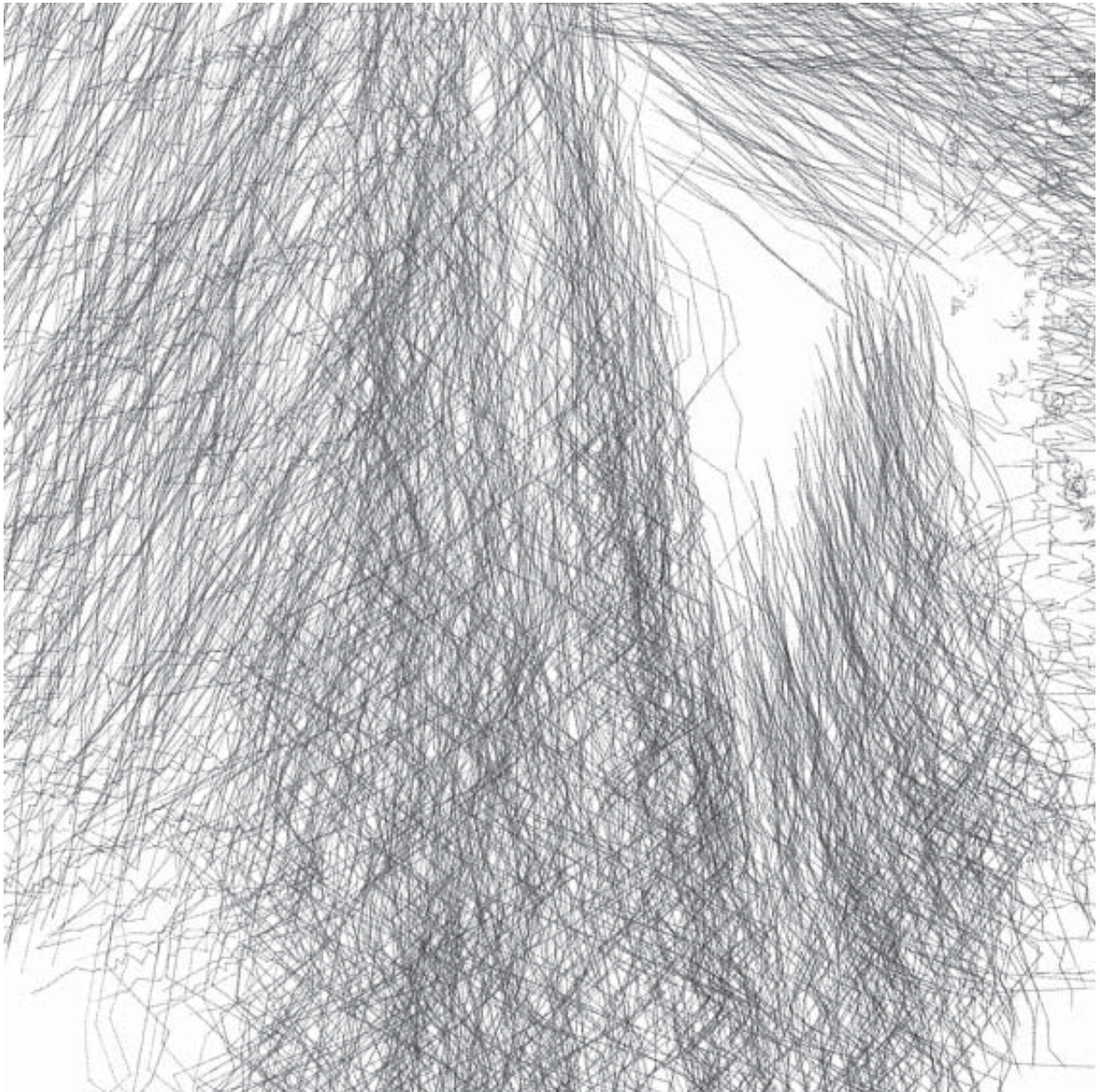


Fig. [16]



numero di poligoni emergenti dallo stesso gruppo di punti, ma si differenziano nei valori degli aspetti assegnati ai poligoni. La figura [16] mostra un dettaglio di un disegno più grande, stampato con un plotter a penna a sfera. Altri esempi possono essere trovati nelle figure [5,6,7,8,9,10].

## 6.Sommario

Gli algoritmi genetici ed i loro concetti sottesi permettono di formulare strategie per la generazione di disegni di linee. Alcuni esempi di un genotipo programmato sono stati mostrati e discussi per dimostrare la capacità di queste strategie. Ci sembra che valga la pena di seguire questa strada per la costruzione di altri genotipi.

## References

- [1] Goldberg, D. E., Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning, Addison-Wesley, 1989.
- [2] Blobel, W., Schneider, W., „Computerkunst 86“ p. 19, Staedtische Galerie im Rathauspark, Catalog of Exhibition Stadt Gladbeck, Germany, ISBN3-923815-10-7
- [3] <http://www.uni-kassel.de/~dehl-www/LVEinf/Morphologien.html>
- [4] Reiling, Patricia, The Cognitive Line in Russian Avant-Garde Art, Leonardo, Journal of the International Society for the Arts, Sciences and Technology, Vol. 31, No. 1, p. 67-83, MIT-Press, 1998
- [5] Schneider, W., Computerkunst 88, Museum der Stadt Gladbeck, ISBN 3-923815-15-8
- [6] “Cube 4”, “Siggraph Art Show 1989” in: Leonardo, Journal of the International Society for the Arts, Sciences and Technology, Supplemental, Issue 1989, Pergamon Press, New York, 1989, S. 82
- [7] “WY4”, Contribution “DADA/DATA”, Developing Media Science 1970, Fine Arts Gallery of University of Maryland, Baltimore County, 1991, ISBN 0-9624565-1-9
- [8] “Bildnerische Experimente mit der geplotteten Linie” in: Bauer, Dehlinger, Mathias; “Design, Kunst, Computer: Computer in den künstlerischen Bereichen”, Verlag Jenior und Preßler, Kassel, Okt. 1991, ISBN 3-928172-07-7
- [9] Dehlinger, H.; Qi, Dongxu “Art Experiments and Mathematical Explorations into the Universe of Machine Generated Drawings”, Proceedings of the International Conference on Electronic Arts, Chicago, ISEA 1997 (in print)
- [10] “Junge Digitale Bilderkunst”, Katalog zur Ausstellung, Kulturamt der Stadt Leverkusen, November 1995