

leslie mezei

leslie mezei

toronto

slučajnost
u kompjuterskoj
grafici

randomness
in computer
graphics

(konačnu redakciju ovog referata izvršio je frieder nake)

(the final review of this paper was carried out by
frieder nake)

tekst pripremljen za simpozij »kompjuteri i vizuelna
istraživanja«, zagreb, 5—6 svibnja 1969.

text prepared for the symposium "computers and visual
research", may 5—6, 1969, zagreb

Kompjutersku umjetnost započeli su stručnjaci — tehničari kojima su bili dostupni kompjuteri i kompjuterske grafičke naprave. Oni su otkrili da se strojnim crtanjem povodice matematičkih krivulja mogu postići dopadljivi rezultati. Mogu se stvarati i efekti slični Lissajouovim krivuljama — koji se obično dobivaju na ekranima katodnih cijevi ili pomoću njihala — pa čak i moare efekti kod kojih se dvije mreže krivulja preklapaju. Rezultat su toga oni precizni pravilni oblici koje obično nazivamo matematičkim.

Mnoge primjene kompjutera uključujući upotrebu slučajnih brojeva generiranih pomoću kompjutera. Ilustrirat ćemo dvije najčešće distribucije takvih slučajnih brojeva:

»pravokutnu« ili »ujednačenu« kod kojih je vjerojatnost da će se dobiti bilo koji pojedini broj unutar dopuštene granice, jednaka vjerojatnosti da će se dobiti bilo koji drugi broj (sl. 1), te »normalnu« ili »Gaussovu« distribuciju kod koje postoji to veća vjerojatnost da će neki broj biti izabran što je bliže »prosječnom« (sl. 2). Te distribucije ilustriramo na slikama pomoću spektralnih linija, i to tako da raspodijelimo 100 linija na osnovici od 10 inča. Kod pravokutne distribucije gustoća linija je u prosjeku jednaka duž bilo kojeg dijela osnovice, a što je veoma slično onome što opažamo kod raspodjele vlati trave na tratini, šljunka na pošljunčenoj cesti ili lišća na gustom grmu. Kod normalne distribucije linije su najgušće blizu središta (»srednjeg«), a prorjeđuju se prema objema stranama, kao što bismo konstatali kad bismo mjerili veličinu svakog šljunka na cesti, svakog lista na grmu, ili težinu, visinu i inteligenciju ljudskih bića. Kad bismo te figure ponovo nacrtali mnogo puta, upotrebljavajući pri tom svaki put drugačiji slijed slučajnih brojeva (iste distribucije), rezultat bi bio veoma sličan iako ne bismo mogli naći dva identična crteža.

Ti su slučajni brojevi igrali presudnu ulogu od samog početka u eksperimentima kompjuterske umjetnosti, kako bi se izbjegla monotonija pravilno postavljenih razmaka predmeta na nekom crtežu. (Ovdje treba ukazati na razliku između »jednolike« slučajne distribucije, koju karakterizira jednaka srednja gustoća u određenim granicama i statistička učestalost, te »pravilne« distribucije koju karakterizira »zakonita« udaljenost među elementima i deterministička učestalost.) Porazbacajmo tada, nasumce, unutar okvira velik broj ravnih crta, ili četvorina, ili kružnica, tako da veličinu, položaj i smjer pojedinih likova odredimo slučajno. To i jest opća koncepcija mnogih najranijih proizvoda kompjuterske umjetnosti.

Computer art began with technical people who had access to computers and computer graphic equipment. They discovered that pleasing results are obtained when a family of mathematical curves is plotted. Effects similar to Lissajou curves — usually obtained on cathode ray tubes or by means of pendulums — could be generated, including Moiré effects when two grids of curves are overlaid. The results are the precise regular shapes we have come to call mathematical.

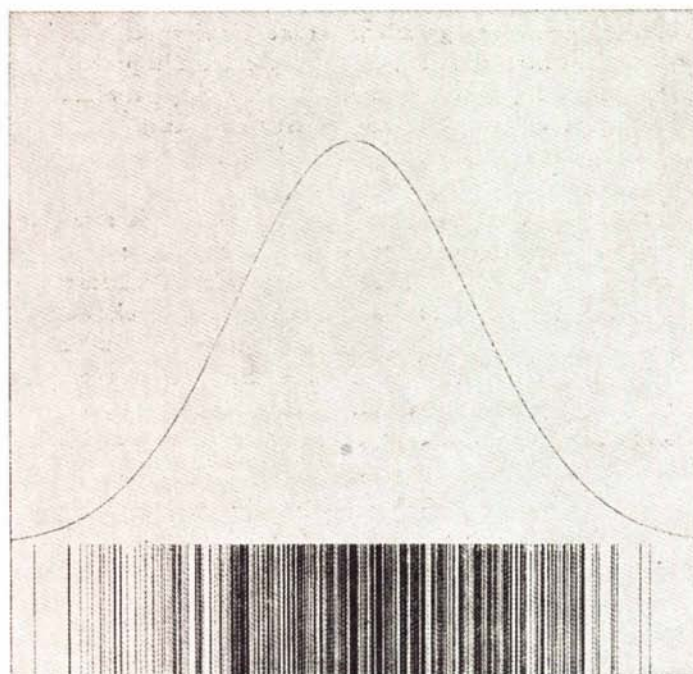
Many computer applications involve the use of random numbers generated within the computer. We illustrate the two most common distributions of such random numbers, the "rectangular" or "uniform" one where the likelihood of obtaining any particular number within the allowed range is the same as the likelihood of any other number (Fig. 1), and the "normal" or "Gaussian" distribution where the nearer to the "average" a number is the more likely it is to be chosen (Fig. 2). We illustrate these distributions in the figures by means of spectral lines, distributing 100 lines over a 10 inch base. The density of lines is the same, on the average, along any part of the base with the rectangular distribution, much as we can observe in the distribution of the locations of the blades of grass on a lawn, of pebbles on a gravel road or leaves on a dense bush. With the normal distribution the lines are most dense near the center (the "average"), thinning out toward the two sides, much as we would find if we measured the size of each pebble on the road, each leaf on the bush, or the weight, height and intelligence of human beings. Were we to redraw these figures a large number of times, using a different sequence of random numbers (of the same distribution) each time, the result would look very similar, though no two drawings would be identical.

From the very beginning on, these random numbers played an essential role in computer art experiments, in order to avoid the monotony of regularly regimented spacing of the objects in a drawing. (Note the distinction here between a "uniform" random distribution, characterized by equal average density over a certain range, and statistical occurrence, and "regular" distribution, characterized by a "lawful" distance from one element to the next, and deterministic occurrence.) Let us, then, throw about in our frame a large number of straight lines, or squares or circles in a random manner, allowing the size, the position and the orientation of the individual figures to be determined by chance. This is the general concept of many of the earliest computer art products.



Slika 1.

Figure 1



Slika 2.

Figure 2

Pravilnost, predvidivost, jedinstvo, jednolikost, sve je to »dopadljivo«; kompleksnost, nepravilnost, nepredvidivost, varijacije, to je »zanimljivo«. Mnoge definicije »umjetnosti« odnose se na jedinstvo unutar složenosti. Novi je element u radu na dizajnu kompjuterskih programa da sve odluke moraju biti specifične i jasne i tako dostupne proučavanju. Kompjuterska umjetnost, po samoj svojoj prirodi, dio je »generativne estetike« (Max Bense). Postoji brzi generator slučajnih brojeva, ali ne postoji umjetnost slučaja. Mnoge konačne odluke u dizajnu su uključene, bilo da ih je programer svjestan ili ne, kao na primjer izbor samo četverokuta ili ravnih crta iz beskrajnog svijeta dvodimenzionalnih objekata; ili ograničenje na samo horizontalne i vertikalne crte, dominantne pravce našega pravokutnog društva — ili opet ograničenje veličine okvira. Ova i druge obaveze nameću jedinstvo, sveukupnu ili globalnu strukturu (»makroestetika« u terminologiji informacione estetike). Ako ponavljamo eksperiment ma koliko puta, dobivamo velik broj varijacija — od kojih su neke više a druge manje zanimljive — ali sveukupna struktura ostaje prepoznatljivo ista. Program uključuje pravila generiranja, algoritam, koja su zbog izbora putem slučaja kadra da

Regularity, predictability, unity, uniformity are "pleasing"; complexity, irregularity, unpredictability, variation are "interesting". Many definitions of "art" refer to unity within complexity. The new element added by doing the design work by computer program is that all of the decisions have to be made specific and explicit, making these open to study. Computer art, by its very nature, is part of a "generative aesthetics" (Max Bense). We have a speedy random number generator, but we do not have random art. Many definite design decisions are included, whether the programmer is aware of them or not, such as the choice of only squares or straight lines among all the universe of two dimensional objects; or the restriction to only horizontal and vertical lines, the dominant directions of our rectangular society; or the limitation of the frame size. These and other constraints impose the unity, the overall or global structure (the "macro-aesthetics" in the terminology of Information Aesthetics). Were we to repeat the experiment any number of times, we get a large number of variations — some more interesting than others — but the overall structure remains recognizably the same. The program embodies the generating rules, the algorithm, which, due to the use of random choice,

proizvedu gotovo neograničeno veliko mnoštvo sličnih slika. Stvaralaštvo se sastoji u izboru proizvodnih pravila, u izboru programa, a ne u nizanju varijacija (koje, riječima informacione estetike, daju »mikro-estetiku« slike).

Program, priznajem, može biti tako kompleksan da stvaralac programa ne može predvidjeti vrstu slike koja će se proizvesti, ali kad se nekoliko njih realizira na izlaznim napravama, ta nesigurnost — koja je zapravo uzrokovana nepoznavanjem medija — nestaje. Za svaki vidjeni uzorak kompjuterske umjetnosti, koja uključuje slučajnost, najčešće ih je napravljen veliki broj, a autor izabire njemu najdraži uzorak, dakle ne slučajno nego podsvjesnim izborom. Na žalost, mjere estetskih vrijednosti, kao na primjer Birkhoffove i drugih, ne omogućuju nam da u program uključimo kriterije za izbor nama najdopadljivije varijacije.

Programer-umjetnik ide još korak dalje u svom nastojanju da utječe na rezultat. Pošto je razmotrio produkt, možda će se odlučiti da izvrši manje preinake u programu — tj. u općim pravilima. To može biti ili samo mala promjena nekih parametara, kao npr. granica do kojih su distribucije veličine dopuštene itd., ili se, na jednom drugom nivou, mogu uistinu stvarno mijenjati neke od važnijih odluka.

Mnogi su u posljednje vrijeme shvatili da bismo odviše pojednostavnili situaciju kad bismo rekli da postoji red i njemu suprotni kaos, nered ili »slučajnost«. Zbunjuje to što dvodimenzionalni ili trodimenzionalni predmet ima mnogo oblika, da ga možemo gledati na mnogo načina. Pitanje je reda što se uzima u obzir: izbor elemenata, veličina, položaj, smjer, tekstura, boja itd., itd. Svaki od tih oblika treba analizirati zasebno. Kod svih tih atributa ili »dimenzija« nadamo se da ćemo izmjeriti količinu slučajnosti (ili kompleksnosti) pomoću teorije informacije, auto-korelacije i sličnoga (što se donekle i provodilo u informacionoj estetici).

Za ilustraciju koncepcije stupnjeva slučajnosti ja ću postupiti upravo obratno i proizvesti neki određeni primjer iz skale slučajnosti (sl. 3). Uzmimo šahovsku ploču 9×9 na primjer,

are capable of producing a nearly infinitely large universe of similar pictures. The creativity is in the choice of production rules, of the program, not in the grinding out of the variations (which, in terms of Information Aesthetics, render the "micro-aesthetics" of a picture).

Admittedly, the program may be complex enough so that its creator cannot foretell the kind of pictures it can produce, but after a few are realized on a plotted output, this uncertainty — due really only to unfamiliarity with the medium — disappears. For each piece of computer art involving randomness that we see, in most cases a large number were produced, their maker selecting the one he likes best — another non-random, though subconscious choice. Alas, the measures of aesthetic value, such as G. D. Birkhoff's and others', are not good enough to enable us to include in the program criteria for selecting the most pleasing ones of our variations.

The programmer-artist goes one step further in his influence over his results. After viewing the output, he may well decide to make minor alterations to the program — i. e. to the general rules. This may include just a change in some of the parameters, such as the limits over which the distributions of size, etc. are allowed, or on another level, actually changing some of the major decisions.

Many people have come to recognize recently that to say that we have order and its opposite chaos, disorder or "randomness" is oversimplifying the situation. What confuses things is that a two or three dimensional object has many aspects, many ways of looking at it. Order with respect to what: choice of elements, size, position, orientation, texture, colour and so on and so on. Each of these aspects must be analyzed separately. Along any one of these attributes or "dimensions" we even have a hope of measuring the amount of randomness (or complexity) by means of information theory, auto-correlation, and the like (which has been done, to a certain extent, in information aesthetics).

To demonstrate the concept of degrees of randomness I will do the opposite, however, and generate a particular example of a scale of randomness (Fig. 3). Let us take a 9×9



Slika 3.
Figure 3

i obojadišimo pojedine crne i bijele četvorine prema ovom pravilu (koje je poznato pod imenom Markovljev lanac). Obojadišimo lijevi gornji kut proizvoljno bijelom ili crnom bojom (što znači da je bijeli kvadrat na početku isto tako vjerojatan kao i crni).

Pripišimo »prijelaznu vjerojatnost« od 0,5. Idući slijeva nadesno, i započinjući svaki red ponovo s lijeva, odlučimo se za boju svake četvorine jedino na osnovu boje posljednji kvadrat bio crn, mogućnosti su 50 : 50 da će određena je prijelaznom vjerojatnošću. Tako, ako je posljednji kvadrat bio crn, mogućnosti su 50 : 50 da će naredni biti bijeli, i obratno. U tom slučaju, dakle, za svaki kvadrat jednako je vjerojatno da će biti crn kao i da će biti bijel. To je, naravno, ono što većina ljudi misli kad kažu da je obojenje »slučajno«. Rezultat je prikazan na srednjoj četvorini slike 3. Promijenimo sad prijelaznu vjerojatnost na 0,55 i ponovimo postupak nanoseći rezultat nadesno od prve šahovske ploče; uzimamo zatim 0,60, 0,65 i tako dalje do 1,00 što označuje sigurnu promjenu. Time dobivamo skalu koja ide prema sve pravilnijoj alternaciji, sve dok ne postignemo pravilnu šahovsku ploču na krajnjoj desnoj strani. Jedno od najzanimljivijih područja nalazi se oko prijelazne vjerojatnosti od 0,9 (treća slijeva) kod koje dobivamo pravilnu izmjenu, mjestimično prekinutu ponavljanjem boje. Sada ćemo nanijeti rezultate s prijelaznom vjerojatnošću od 0,45, 0,40, 0,35 pa sve do 0,00 nalijevo od naše prve šahovske ploče. Time dobivamo drugu skalu koja ide prema sve redovitijem ponavljanju boje, a samo se ponekad prekida promjenom boje kod 0,10, i daje čisto ponavljanje na krajnjoj lijevoj strani. Započeli smo posao tražeći skalu, a završili smo s dvije — što samo naglašava složenost našeg zadatka. Sve to ilustrira pojam različitih stupnjeva slučajnosti; ali se, naravno, može upotrijebiti samo za mjerenje količine nereda unutar sličnih šahovskih obrazaca.

Sliku 4, koja se zove »O Kanado«, upotrijebit ćemo kao primjer detaljnog opisa onoga što sam nazvao: dirigirana slučajnost. Postat će nam jasno da mi ne samo namećemo vanjska ograničenja, apsolutne limite, već upravljamo i količinom upotrijebljene slučajnosti.

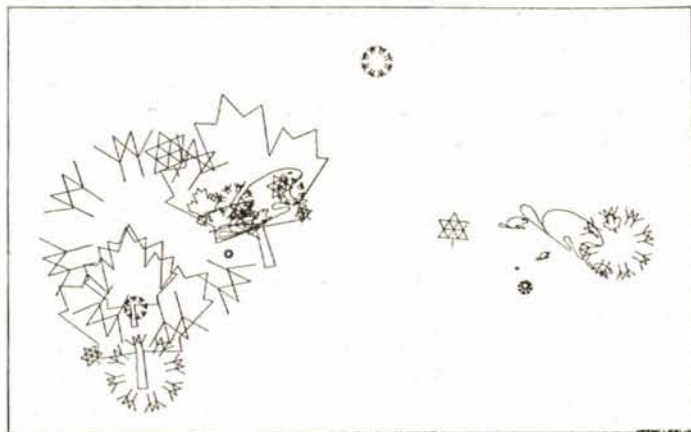
Za ovu sliku poslužila su četiri simbola pripremljena za proslavu stogodišnjice Kanade, godine 1967. Glavna odluka za dizajn, mada će sve detaljnije odluke biti donesene nasumce, bila je jedino da dobiveni elementi slike treba da budu organizirani u stanovitom broju skupova — budući da će se time postići interesantniji rezultat.

chess board, for example, and colour the individual black and white squares according to the following rule (known as Markov chain). Colour the top left corner black or white arbitrarily (meaning that a white square at the beginning is as likely as a black one).

Let us assign a "transitional probability" of 0.5. Going from left to right, and restarting each line at the left, let us decide the colour of each square based only on the colour of the last one. The chance of a change in colour is determined by the transition probability. Thus if the last square was black the chances are 50 : 50 that the next will be white and vice versa. In this case then, any square is just as likely to be black as white. This, of course, is what is meant by most people when they say the coloring is "random". The result is the middle square in Figure 3. Now let us change the transition probability to 0.55 and repeat the process plotting the result to the right of the first checkerboard; then we take 0.60, 0.65 and so on up to 1.00 which means certainty of change. What we have then is a scale going toward more and more regular alternation, till we get the regular checkerboard on the extreme right. One of the most interesting areas is around a transition probability of 0.9 (third from right) where we have a regular alternation occasionally broken by a continuation. Now we are going to plot the results with a transition probability of 0.45, 0.40, 0.35 down to 0.00 to the left of our first checkerboard. We thus obtain another scale going toward more and more regular continuation, only occasionally broken by a change in colour at 0.10, and pure repetition at the extreme left. We started with a search for a scale, and we ended up to two of them — underlining the complexity of our task. This demonstrates the idea of different degrees of randomness, but of course could only be used to measure the amount of disorder within similar checkerboard patterns.

We will use figure 4, called "O Canada", as an example of a detailed description of what I have come to call: controlled randomness. It will become clear that we not only impose external constraints, absolute limits, but we have control over the amount of randomness used.

In this picture four symbols appropriate to Canada's centennial in 1967 are used. The major design decision was merely that though all detailed decisions should be made randomly, the resulting picture elements should be arranged into a number of clusters — since it was expected that this would provide a more interesting result.



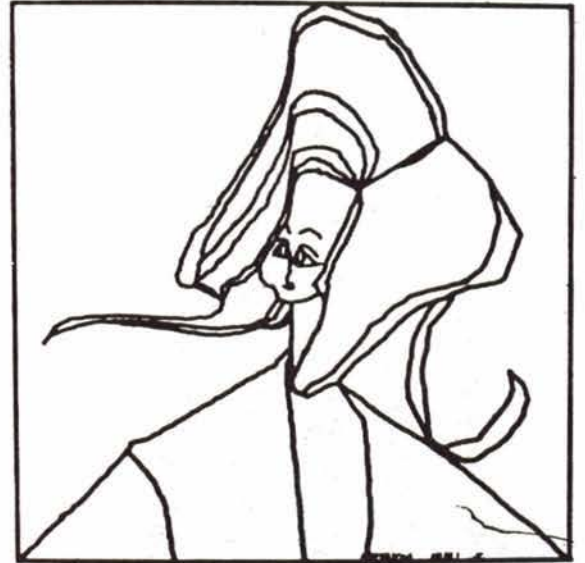
Slika 4.
Figure 4

Ispunit ćemo sliku jednim skupom. Evo naših četiriju likova: jazavac, javorov list, emblem stogodišnjice i emblem svjetske izložbe (Expo). Odlučujemo od koliko će se likova skup sastojati. Poslužit ćemo se samo onim dvjema distribucijama koje smo prije objasnili (postoji i stanoviti broj drugih, kao na primjer eksponencijalna, itd...). Za jednoliku raspodjelu potrebno je da specificiramo samo minimalne i maksimalne vrijednosti, npr. 4 i 8, a to znači da kod pojedinog protoka ovog programa, tj. za svaki skup, postoji jednaka šansa da završi sa 4, 5, 6, 7 ili 8 oblika. Kad upotrebljavamo normalnu distribuciju, specificirat ćemo još i prosječnu vrijednost (onu najvjerojatniju) i standardno odstupanje (koje je mjerilo raspršenja vrijednosti, tj. kako brzo gustoća vrijednosti opada u oba pravca). Mogli bismo reći, na primjer, da u prosjeku treba upotrijebiti 6 oblika, sa standardnim odstupanjem za 1, a bit će ih najmanje 3, odnosno najviše 12. (To bi značilo da svaki broj između 3 i 12 može biti odabran, ali će ih 95% biti u granicama od 3 do 9.) Izaberemo jedan od četiri lika s jednakom vjerojatnošću za svaki (mogli bismo isto tako specificirati relativne razmjere u kojima bi trebalo da se pojave). Smještamo ih jednoliko uzduž slike i specificiramo vjerojatnost za veličinu i smjer. Ponavljamo sve dok nismo postigli odabrani broj likova. Slika, koja je time nastala, sada se odbraja i iscrta. Stvaramo naredni skup, i sve tako dalje, dok ne dobijemo određeni broj skupova. Ustanovljeno je da je potrebna prilično velika raznolikost u veličini unutar skupova ili između skupova da bi se postigli interesantni rezultati. Naglašavam, bilo je odlučeno da se skupovi smiju preklapati, a isto tako i pojedinačni oblici.

We will fill the frame with one cluster. We have our four figures, beaver, maple leaf, Centennial symbol, Expo symbol. We decide how many figures will constitute the cluster. We will only use the two distributions we illustrated previously (there are any number of other ones, such as exponential, etc...) For a uniform distribution we need merely specify the minimum and maximum values, e. g. 4 and 8, meaning that on any particular run of this program, i. e. for each cluster there is an equal chance of ending up with 4, 5, 6, 7, our 8 figures. When we use a normal distribution in addition we specify the average value (the most likely) and the standard deviation (which is a measure of the scatter of values, i. e. how fast the density of values falls off in either direction.) We might say, for example, that on the average 6 figures should be used, with a standard deviation of 1, with a minimum of 3 and a maximum of 12.¹ We choose one of the four figures with equal probability for each (we could as well specify the relative proportions in which they should appear). We position it along the frame uniformly, and we specify probabilities for the size and the orientation too. We repeat until the chosen number of figures is reached. The resulting picture is now scaled down to and drawn by the plotter. We generate the next cluster, and so on, until the required number of clusters are done. It was found that a fairly large variation in size within the clusters or between clusters was necessary to obtain interesting results. Note that it was decided that the clusters may overlap each other, as well as the individual figures.

Instead of making a composition from many elements, we can take one figure, such as a girl's face, and apply various transformations to it. (Fig. 5). A number of interesting

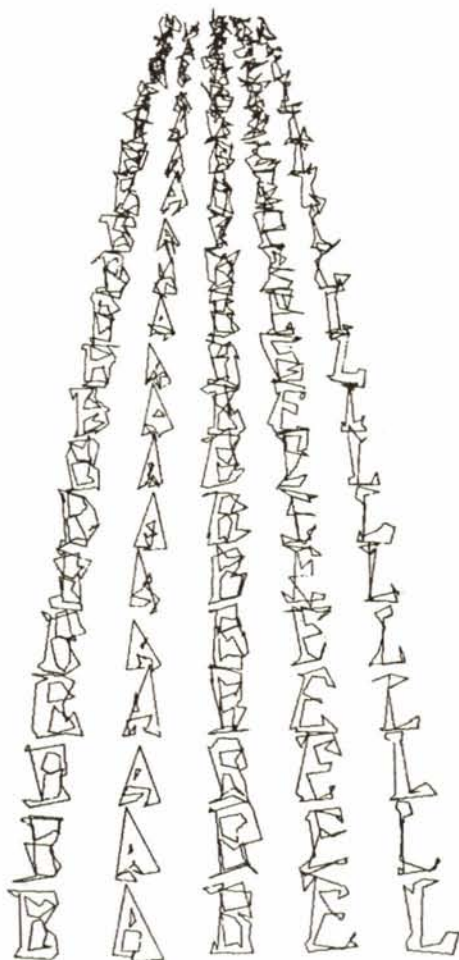
Umjesto da stvaramo kompoziciju od mnogo elemenata, možemo uzeti i jedan lik, kao na primjer lice djevojke, pa na nj primijeniti različite transformacije (sl. 5). Moguće su



Slika 5.
Figure 5

mnoge interesantne matematičke transformacije, ali ovdje se bavimo onima gdje je uključena slučajnost. Slika je u kompjuteru predstavljena pomoću koordinata (položaja) velikog broja (660) točaka između kojih ploter treba da ucrtava ravne linije. Na to je »prodrumamo« tako što se svaka točka pomakne u vodoravnom smjeru za najviše 0,3 inča (na okviru 10×10) kod normalne distribucije (prosjeak 0, standardno odstupanje 0,3). (Vidi gornji desni okvir 5.) Naša slika može predstavljati bilo što, pa i slova; isti taj program može uzdrmati kulu babilonsku (sl. 6) bez ikakva daljnjeg rada. Ovi su programi pisani programerskim jezikom SPARTA I, koji je pripremljen za crteže proizvoljnih linija kao što su ove. Komande koje i onaj što nije programer lako nauči sastoje se od riječi kao što su POMAK, VELIČINA, ROTIRANJE, OKVIR, RDSTP (random distort points) (slučajne točke iskrivljenja, o. pr.).

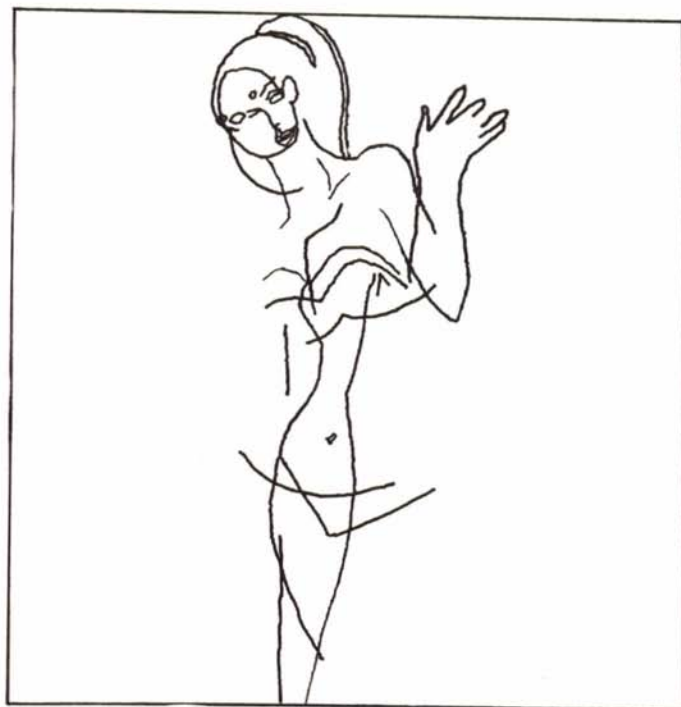
mathematical transformations are possible but here we are concerned with the ones involving randomness. The picture is represented within the computer as the coordinates (location) of a large number (660) of points between which straight lines are to be drawn by the plotter. We now "shake her up" by causing each of the points to move in the horizontal direction by at most 0.3 of an inch (on a 10 by 10 frame) with a normal distribution (average 0, standard deviation 0.3). (See upper right frame of Fig. 5). Our picture can be anything including letters, the same program can shake the tower of Babel (Fig. 6) without any further work. These programs are written in the programming language SPARTA I designed for manipulating arbitrary line drawings such as these. The commands, easily learned by a nonprogrammer, include words such as MOVE, SIZE, ROTATE, FRAME, RDSTP (random distort points).



12 011268 COPYRIHT MEZEI 1967 ©

Slika 6.
Figure 6

Slika 7.
Figure 7



Možemo obrađivati i linije, radije nego točke, i raspoređivati ih u (dirigirane) slučajne sekcije. Ili pak možemo dopustiti da se pomakne svaki segment linije, promijeniti im veličinu i zaokrenuti ih. U slučaju bikinija (sl. 7), pomak linija uzduž vodoravnog smjera dao je efekt koji većinu publike podsjeća na neku Picassoovu sliku. Upozoravam vas da je od nekoliko desetaka slika, od kojih su neke i podebele, meni draga samo slika 7.

We can deal with the lines rather than the points, and break them into (controlled) random sections. Or we can allow each of the line segments to shift, change size and be rotated. In the case of the bikini (Fig. 7), a shift of the lines along the horizontal direction produced an effect which reminds most viewers of a Picasso. Mind you, out of dozens of them, some rather fat, Fig. 7 is only my favourite.

Budući da imamo takvu mogućnost kontrole transformacija i iskrivljenja, možemo proizvesti čitav niz figura, jednu više transformiranu od druge, i tako stvoriti film (bilo neposredno na mikrofilmskom ploteru ili fotografiranom s papira) koji prikazuje proces transformacije. Ako ga prikazujemo unatrag, započinjući s neprepoznatljivo zbrkanim likom, opažamo sve više reda i prepoznatljivosti — lik djevojke koji se pomalja iz kaosa. Mnogi se obrasci prirode mogu tako analizirati, kao i veliki broj djela suvremenih apstraktnih umjetnika. Čini se da postoji jedan ujednačeni ili idealni princip ili model na čiju temu se može igrati mnogo malih kontroliranih slučajnih varijacija. Veličina pojedinih šljunčića na cesti može biti različita, ali raspon veličina je malen, kao što im je i oblik i smještaj u odnosu na njihove susjede itd. Kad slikar ostruže boju sa svog platna

Since we have such control over the amount of transformations and distortion we can produce a sequence of figures increasingly transformed from one to the next, producing a movie (directly on a microfilm plotter, or photographed from paper) showing the process of transformation. Running it backward starting with the unrecognizably jumbled figure we have increasing order and recognizability — a girl emerging from chaos. Many patterns of nature can be analyzed in this manner, as can much of the work of contemporary abstract artists. There appears to be a uniform or ideal principle or model, on which many small controlled random variations are played. The size of the individual pebbles on a road may differ, but the range of sizes is small, as is the shape and their relative location to their neighbors, etc. When a painter scrapes paint off his

ili s drugog materijala, rezultat će ovisiti o prirodi tih materijala i o postupku koji primjenjuje; oni nameću opće ograničenje, globalni obrazac, ali budući da materijali i slikarove kretnje nisu mehanički jednolike, element slučajnosti kao da povećava interesantnost i raznolikost.

Dizajneri iskorišćuju to što mi normalno prepoznajemo predmete po njihovoj globalnoj strukturi i ne pazimo na detalje kad prikazujemo drveće, travu, kosu, različite vrste građevinskih tekstura, zgrade i oblike u pejzažu itd. Kod stvaranja sjena, šatiranja i efekata teksture pomoću kompjuterske grafike, prirodno se javlja element slučajnosti. On se sastoji u pokušaju da se razrade generativna pravila za neke obrasce, u nadi da će to ne samo pridonijeti korisnosti kompjutera za grafički crtež, nego i da ćemo bolje razumjeti prirodu obrasca i strukture. »Ruža je ruža je ruža«, svaka drugačija, a ipak prepoznatljivo ruža — dirigirana varijacija slučajnosti na divni crtež prirode. Najuspješniji pokušaj dosada bio je onaj koji je prikazao strukturu sličnu strukturi ćelije. Rezultati jedne grupe programa podsjećaju na biološke ćelije, raspucanu zemlju, ledene sante, paukovu mrežu. Kleeove slike, mikro-strukturu kristala, saće meda, mjehure sapunice i tako dalje.

Ruža je ruža je ruža. Uloga je i učenjaka da ispituju prirodu stvari, a njihova su nastojanja konvergentna. I jedni i drugi postavljaju pitanja o obrascima i strukturi prirode. Dirigirana slučajnost, pored toga što proizvodi slike koje mi se sviđaju, nudi se ovdje kao mogući ključ u tom pravcu. Daje nam još jedno oruđe da bismo ušli u one oblike prirode koji po matematičkim jednadžbama nisu pravilni. Ruža je dirigirana slučajna varijacija na temu ideala ili modela ili prosječne ruže, a mi prepoznajemo da je ruža je ruža je ruža.

canvas or other material, the result is governed by the nature of the materials and the process he is applying; these set the overall constraints, the global pattern, but since the materials and his motion are not mechanically uniform the random element appears to add interest and variety.

Designers make use of the fact that we normally recognize objects by their global structure and ignore the detail in rendering trees, grass, hair, buildings textures of various kinds, buildings and figures in a landscape, etc. When developing shading, crosshatching and textural effects by computer graphic the random element comes in naturally. It consists of an attempt to develop the generational rules for some of the patterns, with a hope that not only does this add to usefulness of the computer for the graphic design but also we might gain some understanding into the nature of pattern and structure. "A rose is a rose is a rose", each different, yet recognizably a rose — a controlled randomness variation on nature's grand design. The most successful effort so far has been with cell-like structure. One set of programs produced results reminiscent of biological cells, cracked earth, ice floes, spiderwebs, Klee's paintings, micro structure of crystals, honeycomb, soap bubbles and so on.

A rose is a rose is a rose. The role of both scientists and artists is to inquire into the nature of things, and both are doing this along converging lines. Both are asking questions about the patterns and structure of nature. Controlled randomness, besides producing pictures pleasing to me, is offered here as a possible clue in that direction. It gives us one more tool for probing into those aspects of nature which are not regular according to mathematical equations. A rose is a controlled random variation on ideal or model or average rose, we recognize it as a rose is a rose is a rose.