

Ustvarjanje umetnega življenja*

Ob pojmu umetno življenje si ponavadi predstavljamo Frankensteinu podobne stvore, hollywoodske mutante in vsa bitja pošasti, ki jih ustvarjajo obsedeni znanstveniki kje v kletnih laboratorijih znanstvenega gradu. Vendar je takšna predstava danes, na prehodu v 21. stoletje, že precej zastarela in popolnoma zgrešena. Življenje, ki ga ustvarja človek, umetno življenje je že v našem (računalniškem) okolju.

Od časov mračnih laboratorijev, ki so večinoma obstajali v domišljiji piscev srednjega veka, do današnjih modernih high-tech laboratorijev, živi v znanosti in človeški domišljiji alkimistični sen - ustvariti živo bitje iz nežive snovi. Te sanje so navdušujoče in grozljive obenem, saj združujejo destrukcijo življenja, kakršnega poznamo, in genezo novega, ki je za človeka skok v neznano. To evolucijo strojev pa že od nekdaj zavirajo načelni pomisleki, kot je Frankensteinova dilema: nenehen strah pred samozavedajočo se destruktivno tehnologijo. Vsako desetletje ali stoletje je zaznamovano s svojo moderno tehnologijo, ki je po eni strani gral groze, po drugi pa eliksir življenja. To velja tudi za računalnike: postali so glavno orodje modernih alkimistov, ki iz elektronskih impulzov ustvarjajo življenje.

** Del pričujočega besedila, predvsem opis programa Tierra, je bil v ne bistveno spremenjeni obliki in z naslovom "Umetno življenje" objavljen v reviji **Monitor**, let. 3, št. 12, december 1993, str. 88-93.*

¹ *Mayr, E., The Growth of Biological Thought, Cambridge, MA: Harvard University Press, 1982.*

MISTIKA URNIH MEHANIZMOV ŽIVLJENJA - KUKAVICE IN ZOBNIKI NAPREDKA

Človekova obsedenost z ustvarjanjem življenjskih modelov se vleče skozi vso zgodovino ustvarjanja strojev in ima precejšen vpliv na oblikovanje duha časa in filozofije nekega obdobja, že vse od prvih poizkusov razumevanja naravnih pojavov s pomočjo simulacij, človeško ustvarjenih kopij narave. Prvotni sistemi so s svojim delovanjem oponašali medsebojno povezanost planetov, ki vplivajo na naravne procese na Zemlji. Naši daljni predniki so verjeli, da lahko s pomočjo tabel (prvotnih koledarjev) in velikih kamnitih ali lesenih modelov predvidijo obnašanje narave daleč vnaprej. A ti modeli so se izkazali za zelo omejene.

Pozneje je človek začel graditi stroje, sprva enostavne, nato vse bolj zapletene. Enostavni stroji so bili najprej le podaljški človeških udov, do iznajdbe prvega stroja, ki je kazal lastno

obnašanje, ure. Zgodnje egipčanske vodne ure, imenovane klepsidre, so Ctesibiusa Aleksandrijskega navdihnile, da je okoli leta 135 pred našim štetjem ustvaril prvo mehanično uro na vodni pogon. In ravno ura je sprožila revolucijo v devetem stoletju našega štetja. Okoli leta 850 so zasnovali mehanske urne mehanizme, ki so še danes v starinskih stenskih urah. Ubežni mehanizmi, ki so delovali na osnovi potencialne energije uteži, so pozneje zaznamovali cel srednji vek in renesanso kot zlato obdobje

“Končni cilj raziskovanja umetnega življenja naj bi bilo ustvarjenje “življenja” v kakem drugem mediju, idealno v virtualnem mediju, kjer je bilo bistvo življenja povzeto iz detajlov izvedbe na poljubnem modelu. Radi bi ustvarili take modele, ki bi bili tako življenjski, da bi prenehali biti modeli in bi postali primeri življenja samega.”

Christopher Langton

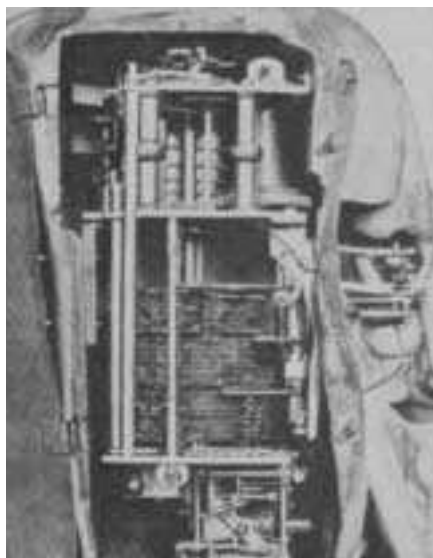
urnih mehanizmov. Ure, ki so bile dolga stoletja vrhunec tehnologije, so v mnogočem vplivale na filozofijo znanosti in tehnologije v srednjem veku. Ta mehanicistična filozofija se je kasneje, s podporo religije, razširila tudi na druga področja znanosti. Njen vpliv gre pripisati tudi temu, da je bilo človeško telo v srednjem veku nedotakljivo zaradi religijskih prepovedi. Tako so znanstveniki in tehniki začeli ustvarjati mehanske modele, ki so oponašali obnašanje živih bitij, misleč, da so tudi živi organizmi in med njimi seveda človek le zelo kompleksen stroj, ki deluje po načelih mehanike. Človeško dojetje življenja je tako iz mističnega prešlo v mehanicistično, saj so znanstveniki v tistem času verjeli, da je življenje proces, ki se pojavi vsakokrat, kadar sestavimo skupaj zanj potrebne dele. Zato so začeli razgrajevati in sistematizirati vse procese, ki obstajajo v naravi, saj so verjeli, da bodo tako lahko odkrili vse skrivnosti vesolja. In ravno ta sistematizacija naravnih procesov je pozneje utrla pot novemu stroju, ki omogoča simuliranje poljubnega sistema na osnovi njegovega formalno logičnega opisa, računalniku.

MEHANIKA BIOLOŠKIH PROCESOV - RAČUNALNIŠKI TERMITI, KI NAJEDAJO TEMELJE VITALIZMA

Z napredkom znanosti in tehnologije se je razširila človeška zakladnica znanja, kar je pripomoglo k še boljšemu razumevanju sveta. Trditev, da je skrivnost življenja v mehanični kompleksnosti sestavnih delov organizmov in njihovih povezav, je že zdavnaj ovržena. Mehanicizem, katerega utelešenje je bil ravno Frankenstein, je bil zavržen spričo novih znanstvenih odkritij. Ko je padel v vodo še zadnji poizkus formalnega rekonstruiranja življenja, robotika, je bilo očitno, da napaka ni v mehanizmu, iz katerega so znanstveniki želeli sestaviti življenje, ampak v našem dojemanju življenja. Danes prevladuje nov pristop, ki pravi, da je potrebno ločiti lastnosti, ki življenje definirajo, od tistih, ki so zanj značilne.

Teorija vitalizma, ki pravi, da so živa bitja v osnovi različna od neživih, je bila med biologi popularna dolgo vrsto let in jih je usmerila k raziskovanju mejnikov med živim in neživim. Rezultati njihovih raziskovanj so bili porazni, saj ni bilo podane nobene zadovoljive definicije življenja; zato danes vztraja pri vitalizmu le še manjše število znanstvenikov. Biolog Ernst Mayr¹ je strnil ugotovitve vitalistov v nekaj osnovnih lastnosti živih bitij: *kompleksnost in organizacija; skupna kemična osnova molekul, ki jih sestavljajo; izvornost vsakega živega bitja in variabilnost med njimi; vsebovanje genetskega programa, iz katerega se razvije fenotip; zgodovina, ki jo oblikuje naravna selekcija in očitna nedeterminiranost dejanj*. Nobena od navedenih lastnosti pa niti posamično niti v kombinaciji ne definira globalne distinkcije, po kateri bi lahko razlikovali med živim in neživim. Obstajajo računalniški modeli, ki kažejo večino lastnosti, kot jih navaja Mayr.

Evolvirajoči računalniški procesi so sistemi, ki so preslikava živih organizmov v vzorce. V prostoru in času, ki ju simulira računalnik, se informacije lahko reproducirajo, absorbirajo iz okolja in spreminjajo svoj virtualni "svet". Tipični primer takšnih sistemov so Packardove žuželke ali *AntFarm* Collinsa in Jeffersona. Evolvirajoči procesi simulirajo danes večinoma enostavne organizme z manj kompleksnim obnašanjem, kot so bakterije, rastline ali žuželke, kar pa ne pomeni, da v prihodnosti ne bo



Dva pogleda na pisalni avtomat, ki ga je skonstruirala družina Jaquet-Droz (slika zgoraj in slika spodaj). Ponatis slike po Alfred Chapuis in Edmond Droz: Automata: A historical and Technical Study. B. T. Batsford Ltd. London 1958.



² Lahko bi jim rekli bitja, a s to besedo ponavadi označujemo žive biološke organizme.

v računalniku cele Orwellove *Živalske farme*. Kljub enostavnosti teh procesov se kaže presenetljiva raven spontanega obnašanja in nastajanja družbenih, morda celo hierarhičnih tvorb v koloniji računalniških mravelj.

Pri evolvirajočih procesih je pomembno poudariti, da gre za žive procese, ki nastajajo v računalniku, kar pa ne pomeni, da je le-ta živ. Ena bistvenih predpostavk novega polja v znanosti, umetnega življenja, je, da življenje ni vezano na organsko materijo in lahko nastane tudi iz neorganske snovi.

GENETSKI PRESKOKI IZ OGLJIKOVODIKOV V SILIKON

Do sedaj je med znanstveniki prevladovalo mnenje, da je računalniški hardware bistveno drugačen od biološkega wetverja (sinonim za biološke informacijske sisteme, kakršni so možgani) in da zaradi tega v računalniku nikoli ne bo mogoče ustvariti kompleksnih dinamičnih obnašanj, kot sta inteligenca in zavest. Če pa predpostavimo, da so vlažnost, trdnost, agregatna stanja itd. le stvar organizacije materije, ne pa njene lastnosti, je vsekakor mogoče vse, kar obstaja v bioloških sistemih, ustvariti v računalniku, in mogoče celo kompleksnejše sisteme, kot jih pozna narava. Svoje okolje vedno bolj predelujemo v umetni ekosistem in ni več neverjetno, da bomo nekoč začeli predelovati tudi sebe - iz bioloških v informacijska bitja. Temu bi

“Mnogi problemi, ki so pestili človeštvo vse od začetka njegovega družbenega življenja, in dolga preddverja civilizacije so implicitno problemi o izvoru življenja. Problemi o bistvu življenja in smrti so mnogo bolj sofisticirani kot pa tisti o nadnaravnem in božjem vodenju iz vesolja. Ti imajo sedaj obliko: “Ima veselje kak namen?” in “Ali sta misel in materija povezana?” ... kar pomeni, da se znanje zelo hitro kopiči zaradi vedno večje uporabne moči instrumentov in razvoja kemijskih in fizikalnih teorij. Območje mističnega pa se izredno hitro krči.”

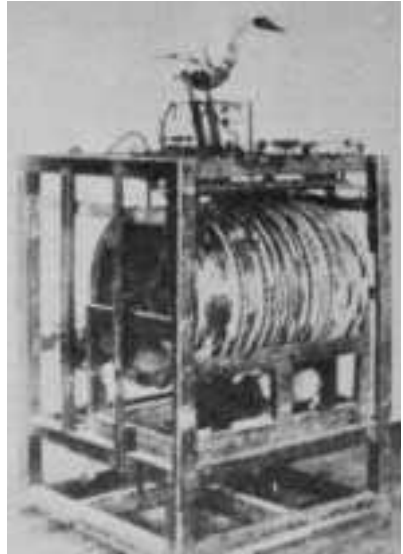
J. D. Bernal

lahko rekli tudi vrnitev h koreninam, saj življenje, če predpostavimo, da ni vezano na materijo, opisuje le zmožnost zaznavanja, obdelovanja in delovanja na podlagi informacij, ki jih vsrkamo vase. Po Langtonu so osnovne molekule, ki tvorijo življenje, “informacijske molekule”, te pa so med seboj povezane v dinamično informacijsko mrežo, ki jo šele začenjamo raziskovati. Obstaja že več teorij o “genetskih preskokih” (genetic takeover) v zgodovini vesolja. Hans Moravec, direktor robotskega inštituta na Carnegie-Mellon, napoveduje, da se bo preskok iz biološkega v tehnološko življenje zgodil že v naslednjih 50 letih. Biolog Cairns-Smith pa je že leta 1966 govoril o prehodu genetske evolucije iz kristalnih struktur v glini v ogljikovodikove mehke organske oblike, ki se sprehajajo po Zemlji danes.

INFORMACIJSKI PARAZITI - ALI JE VAŠ RAČUNALNIK OKUŽEN Z MICHELANGELOM ALI AIDS-OM?

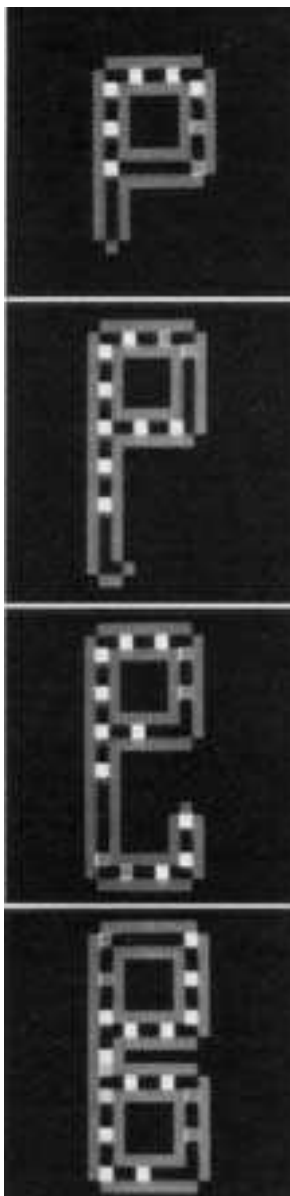
Zdi se, da so računalniški procesi bistveno drugačni od naravnih, življenjskih, ker niso intimno vezani na živo materijo. V sami zasnovi so računalniški procesi, tudi evolvirajoči, ustavljivi, kar pomeni, da jih lahko ustavimo, shranimo in nato ponovno poženemo. A ta oblika nesmrtnosti ni neznana svetu organskega življenja, saj lahko semena nekaterih rastlin po tisočletnem počivanju vzklijejo in s tem oživijo, če so izpolnjeni določeni pogoji. Enako velja za procese, ki so shranjeni v računalniškem spominu in čakajo, da jih bo klic procesorja obudil k "življenju". Čeprav takšne oblike umetnega življenja v mnogočem spominjajo na računalniške viruse, njihovo delovanje nikakor ni nekontrolirano ali usmerjeno v destruktivne namene. Ustvarjeni so za opazovanje spontanih procesov in simuliranje možnega življenja pri različnih pogojih, ki so v realnem svetu neizvedljivi.

Ustvarjanje umetnega življenja je danes še vedno v povojih, in ni se vam treba bati, da se boste čez noč prelevili v kufkoveškega hrošča v računalniku. Ustvarjalci umetnega življenja se pri raziskovanju že danes soočajo z mnogimi problemi; eden od njih je vsem dobro znan - samorazmnožujoči se informacijski paraziti ali drugače: računalniški virusi. Pri ustvarjanju novih oblik življenja, kot pri genetskem inženiringu, moramo biti previdni že od samega začetka, saj bodo entitete,² ki nastanejo v tem procesu, z nami delile svet, v katerem živimo. In če bodo te entitete zmožne samostojnega obstoja, razmnoževanja in evolviranja, ni nujno, da bodo njihovi cilji enaki našim. Že danes obstajajo v našem okolju nevarni paraziti, kot so računalniški virusi, ki pa še niso zmožni evolviranja. Še dobro, saj bi se sicer pojavili v računalnikih enaki problemi kot pri ljudeh z virusom HIV (AIDS). Obrambni sistem pri ljudeh je precej učinkovitejši kot v računalnikih, zato si prav lahko zamislimo destruktivne možnosti tovrstnega virusa v elektronskem mediju. Eden od možnih načinov preprečevanja je enak kot pri genetskem inženiringu - delo v izolaciji. Danes nekateri programi, ki ustvarjajo umetne življenjske tvorbe, kot je *Tierra simulator*, že uporabljajo ta princip.



Dva pogleda na mehanično raco, ki jo pripisujejo Jacquesu de Vaucansonu (slika zgoraj in slika spodaj). Ponatis slike po Alfred Chappuis in Edmond Droz: Automata: A historical and Technical Study. B. T. Batsford Ltd: London 1958.





Serija osmih slik (zgoraj in desno), ki prikazujejo razvojni niz Langtonovega celičnega avtomata, ki s svojimi "žankami" reproducira duh življenja. Začenši z enim organizmom, zanke postopno tvorijo kolonijo. Medtem ko se zanke na zunanjih robovih lahko nemoteno reproducirajo, pa se zanke, ki ostanejo znotraj tvorbe - omejene z lastnimi potomci - ne morejo reproducirati. Ti mrtvi

ZEMLJA,³ NASELJENA Z DRUGAČNIMI BITJI

Thomas S. Ray, ameriški biolog, je svoje 19-letne izkušnje pri raziskovanju žuželk v amazonskem pragozdu (v Kostariki) strnil v računalniški program *Tierra simulator*, simulator biološke evolucije.

Biologija je po Rayu veda, ki bi morala zaobseči vse oblike življenja, ne le tistih, ki jih poznamo, temveč tudi vse oblike možnega življenja, ker je to edini način, da se dokopljemo do definicije življenja. Ker je iskanje drugih oblik življenja po vesolju še vedno uresničljivo le v znanstveni fantastiki, se je Ray zatekel k praktični alternativni - ustvarjanju umetnega življenja v računalniku. "Evolucija v steklenici" je za Raya izvrstno orodje za izvajanje ekoloških in evolucionih poizkusov.

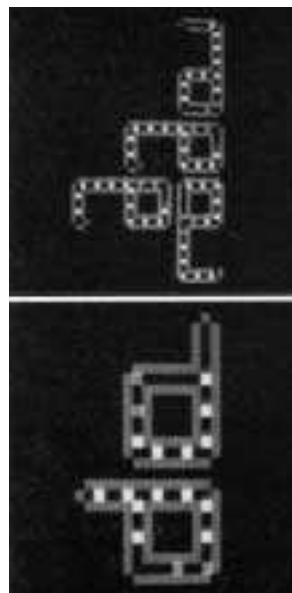
Tierra je predvsem ustvarjalno orodje, ki tvori nove entitete, sposobne samorazmnoževanja in evoluiranja. A te nastajajo v *Tierra simulatorju*, programu, ki simulira zaprto okolje, virtualni računalnik, v spominu pravega računalnika. Tako lahko *Tierra* ustvari entitete, ki izženejo konkurenco iz virtualnega spomina brez bojazni, da bi se enako zgodilo z MS-DOS, Windowsi ali katerim drugim programom na disku. *Tierra* je zaprt sistem in programi, ki se v njej borijo za svoj obstanek, so sestavljeni iz kode, ki deluje le znotraj simulatorja. Če se te entitete torej prebijejo iz simulatorja, so zunaj njega kot ribe na suhem, saj so v preživljanju v resničnem računalniškem spominu enake tekstovnim datotekam. Druga prednost tovrstnega pristopa je prenosljivost. Programčki, ki delujejo znotraj *Tierre*, bodo enako delovali na vseh računalnikih, kar ni izrazita lastnost nobenega današnjih programov. Spremeniti je treba *Tierro* in evolucija bo tekla nemoteno naprej, le okolje za entitete bo večje in udobnejše, če uporabimo hitrejši računalnik, saj je potreben velik prostor v spominu in dosti časa (na hitrejšem procesorju teče virtualni čas hitreje), da bi dobili res kakovostne rezultate (človeštvo je potrebovalo nekaj milijard let in celo vesolje, da bi se razvilo). Tretja prednost je, da programi, napisani za *Tierro*, niso ostro omejeni na dosedanji princip delovanja računalnikov, ki izključuje evoluiranje programov (vsaka mutacija v DOS bi nedvomno postala hrošč, ne pa izboljšava).

Organsko življenje je povečini sestavljeno iz procesov, ki s pomočjo sončne energije organizirajo ali predelujejo materijo. Analogno organskemu, digitalno življenje (življenje v računalnikih) lahko dojamemo kot skupek procesov, ki uporabljajo procesorski čas, vir energije za digitalne entitete, za organizacijo spomina. V organskem svetu bitja evoluirajo v procesu

naravne selekcije in boju za obstanek (boj za hrano, prostor, svetlobo...), kjer se genetska koda najuspešnejših organizmov razširja sorazmerno s številom potomcev, ki preživijo. V digitalni areni veljajo enaka pravila, le da se entitete borijo za procesorski čas (vir energije) in prostor v spominu. Pravila prenašanja genotipa (celotne genetske kode osebkov) so v tem digitalnem svetu enaka, saj je kopiranje kode ena osnovnih operacij, ki jih premore vsak računalnik, le da so v Tierrini dodane še naključne napake pri kopiranju in mutacije, ki se pojavljajo podobno pogosto kot v organskem svetu.

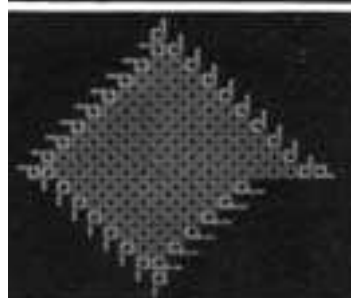
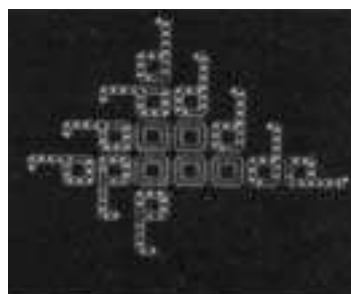
Digitalne entitete seveda niso niti najmanj podobne življenju, ki ga srečamo v našem okolju, temveč so prilagojene digitalnemu mediju, kjer bi tudi ljudje, če bi jih oklestili na genetsko kodo, bili kot datoteka, polna naključnih števil. Računalniki še vedno niso sposobni izpeljati kompleksne preslikave iz genotipa v fenotip (kot je naša oblika iz krvi in mesa) tako dobro, kot to počne narava (organski univerzum). A kljub tej omejitvi entitete, sestavljene iz 80 ali 100 ukaznih vrstic v Tierrini kodi, kažejo presenetljivo zapletene vzorce obnašanja in nekatere zmožnosti prilagoditve, ki so bile do sedaj znane le organskemu življenju. Nekateri rezultati kažejo, da enostavni programi lahko evolvirajo v parazite, živijo v simbiozi (dva programa si vzajemno "pomagata") ali pa je zanje značilna kakšna druga biološka struktura. Tierra se vedno začne enako, če ne spremenimo začetnih pogojev ali prvotne entitete, z entiteto z 80 ukazi, z genetsko kodo 80AAA, ki je vnaprej definirana. Zatem Tierra poseje naključno število teh 80-tic po virtualnem spominu,⁴ od tod naprej pa se stvari odvijajo vsakič drugače - kot pri celičnih avtomatih. V začetku Tierrinega vesolja je seveda večina "prebivalcev" še vedno 80AAA, ker so uspešne mutacije redke, enako kot v organskem svetu, a po nekaj milijonih simuliranih let (Tierrinih ciklov) se stvari začnejo hitro spreminjati. "Življenjska doba" entitet je omejena, in uspešnejše entitete, ki se hitreje razmnožujejo, kmalu zasedejo večino spomina in izrinjajo svoje prednike. Možen rezultat po nekaj deset milijonih ciklov je prevladujoč uspešen parazit 43AAC (43 ukazov, drugi mutant), ali izumiranje vseh. Do sedaj znane oblike, ki so se pojavile v Tierrini, je Thomas Ray spravljal v nekaj osnovnih skupin.⁵

Osnovni samorazmnoževalni program (80AAA) ali "prednik" vseh drugih entitet, ki ne vsebuje nobene zasnove za početje česar koli drugega kot ustvarjanje svojih kopij, ki se naselijo in razmnožujejo v Tierrinem prostoru, je sestavljen iz treh delov: samopregledovalnega, ki izračuna položaj programa v spominu in njeno



predniki tvorijo osnovo za ekspanzijo prihodnjih generacij, precej podobno kot v primeru koralnih grebenov.

To samoorganizirajoče se vednje se poraja spontano, od spodaj navzgor in je ključna značilnost umetnega življenja.



³ **Tierra** pomeni v španskem jeziku Zemlja.

⁴ Tako nastane "primordialna juha", analogno tisti, iz katere je nastalo življenje na Zemlji.

⁵ Thomas S. Ray, "An approach to the synthesis of life." **Artificial Life II**, Addison-Wesley 1992, str. 371-408.

"Ko je človek želel leteti, se je najprej zgledoval po naravi - ptici - in razvil zgodnje ideje o tem, kako naj uresniči to zahtevno nalogo. Spodleteli poskusi Dedalusa in mnogih pticam podobnih priprav (ornitopterji) so sprva kazali, da je smer napačna, toda sčasoma sta vztrajnost in abstrakcija primernege znanja pripeljali do uspešnega zračnega jadranja in letenja na motorni pogon. Ali ni zato nenavadno, da je človek poskusil ustvariti stroje, ki bi mislili, se učili in prilagajali, obenem pa je popolnoma ignoriral in še danes ignorira enega najboljših primerov narave za prilagajanje, genetiko in naravno selekcijo?"

David Goldberg

Zaslonska slika programa **Direct** (slika desno spodaj), ki je nastal kot enostavna modifikacija programa **Life**. Ta program ima preprosto pravilo celičnega avtomata, ki veleva: če ima eden od zgornjih ali spodnjih najbližjih sosedov celice *i* statusno vrednost 1 v času *t*, potem bo celica *i* dobila statusno vrednost 1 v času *t*+1. Slika prikazuje delovanje programa, iniciranega z naključno začetno konfiguracijo, po opravljenih osemindvajsetih ponovitvah.

dolžino, delitvene zanke; rekurzivnega algoritma, ki rezervira del spomina za svojega naslednika, pokliče razmnoževalno proceduro; tretji del programa pa celotni program prekopiira v zanj rezervirani prostor in nato skoči nazaj v zanko, ki se ponavlja, dokler je še kaj prostega spomina.

Če se pojavi napaka pri kopiranju ali mutacija na delu, ki preverja dolžino entitete, se lahko zgodi, da se program ne prekopiira v celoti. Pri tovrstnih napakah se lahko v naslednika prekopiirata le prva dva dela programa, brez razmnoževalne procedure. V **Tierro** pa je vgrajena dodatna možnost "iskanja" te procedure v okolici 200-400 ukazov (vsak ukaz zasede eno spominsko celico), kar pomeni, da ta novi mutirani program lahko uporabi razmnoževalno proceduro enega od prednikov za svoje namene in s tem postane parazit (glej sliko b). Tipični parazit je entiteta (ali program) z dožino 45 ukazov ali 45AAA. Paraziti lahko še naprej evolvirajo v uspešnejše entitete.

Toda sčasoma se razvijejo tudi obrambni mehanizmi. Entitete z dožino 79 ukazov so znane po svoji odpornosti proti parazitom 45 in jih kmalu izločijo iz spomina. 79-tice, še posebej 79AAB, so kljub nenehnemu napadanju parazitov lahko dolgo časa gospodarji **Tierrinega** prostora, dokler ne nastanejo novi paraziti 51, ki uspešno prevzamejo štafeto palico evolucije. In v tem darvinističnem boju za obstanek se razvijajo vse bolj kompleksne oblike.

Sčasoma nastanejo hiperparaziti, ki "ujamejo" parazitov klic tuje razmnoževalne procedure in mu "podtaknejo" svoje parametre, in tako parazit ustvari kopijo hiperparazita, ne sebe. Ker so hiperparaziti zelo uspešni, kmalu

izzenejo vse parazite in s tem postane okolje (spomin) precej genetsko enovito, kar je temeljni pogoj za nastanek prvih digitalnih družbenih tvorb, kot so družabni hiperparaziti, ki se lahko razmnožujejo le v skupkih. Entitete, ki so druga ob drugi, si "podajajo" procesorski čas s skakanjem na sosedove ukaze, tako da so aktivne le tiste, ki se lahko najhitreje razmnožujejo.

Toda ta kooperativni sistem ni imun za "goljufive" hiperparazite, programčke (kot je 27AAB), ki se vtaknejo v komunikacijsko verigo družabnih hiperparazitov in pristavijo svojo skledico. Ob izkoriščevalskih vezeh pa se pojavljajo tudi prijateljske. Znan je primer, da je napaka pri razmnoževanju ustvarila dve različni entiteti, eno brez delitvene zanke, drugo pa brez razmnoževalne procedure. In ker sta nastali blizu skupaj, sta navezali simbiotični odnos - in se razmnoževali v paru.

Programi, kakršen je Tierra, obstajajo že vrsto let in se zadnje čase vedno bolj uporabljajo pri bioloških raziskavah in v edukativne namene. To pa niso edine oblike umetnega življenja, obstajajo tudi mnoge druge.⁶

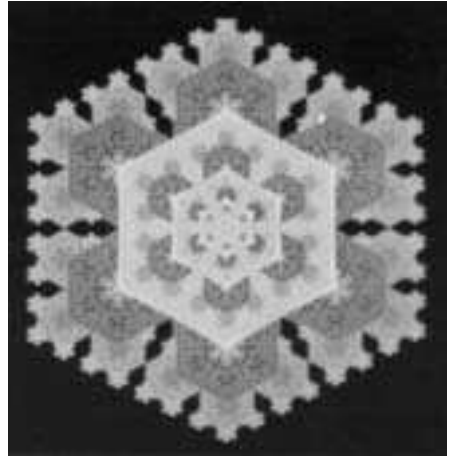
BIOMORFI IN ONTOGENETIČNO REALISTIČNI PROCESI

Evolvirajoči računalniški procesi so biomorfni sistemi, pri katerih je poudarek na morfogenezi. V zasnovi so to genetski računalniški programi, ki tvorijo kompleksne vzorce - fenotipe. Primeri takšnih sistemov so *Biomorfi* Richarda Dawkinsa, *L-Sistemi* Lindenmeyerja in Prusikiewitza ter *Simulacije celičnih plasti* nizozemskega biologa Roba DeBoera. Trenutno se biomorfni sistemi delijo v dve skupini - evolvirajoče in samoreproducirajoče se. Z nadaljnjim razvojem genetskih računalniških programov pa bo te sisteme mogoče združiti in tako ustvariti kompleksnejše vzorce - in ti bodo bolj podobni tistim, ki jih v naravi tvorijo žive celice. Nove računalniške grafične postaje pa omogočajo tudi ustvarjanje tridimenzionalnih prostorov. Evolvirajoča nevrnska mreža, ki jo je ustvaril Larry Yaeger, programer pri Applovem projektu *Vivarium*, "živi" v tridimenzionalnem prostoru računalnika, kjer se premika in komunicira z vizualnimi simboli. Ta svet lahko opazujemo globalno, kot objektivni opazovalci, ali pa s subjektivne perspektive katerega od nevronov.

Dobra vizualizacija genetičnih in nevroloških raziskav bo vsekakor pripomogla k boljšemu razumevanju sveta okoli nas. Ob tem se odpirajo nove možnosti na področju umetnosti, saj biomorfni sistemi ustvarjajo ob klasičnih estetskih tvorbah nove vzorce, ki jih narava ne pozna. Kakovostna računalniška grafika in animacija sta dostopni vse večjemu krogu umetnikov. Med njimi so Louis Bec, William Latham in Karl Simms, ki je lani prejel grand prix *Ars Electronice* za svojo biomorfno animacijo *Primordial Dance*.⁷ Biomorfi bi lahko postali prva živa bitja, ki obstajajo le v virtualni resničnosti.

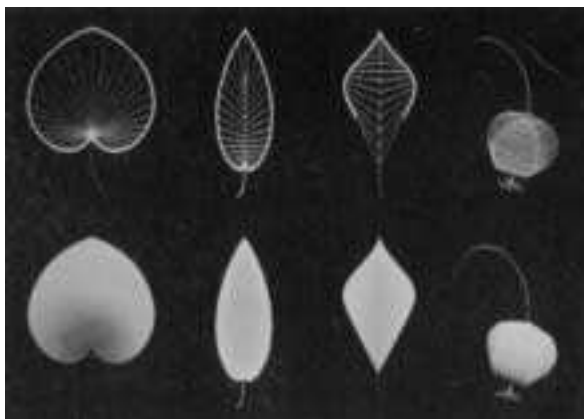
AVTOKATALITIČNE MREŽE

To so enostavni sistemi, ki spontano generirajo življenju podobne samoreproducirajoče se



Celični avtomat-snežinka, ki ga je ustvaril Norman Packard. Začeni z enim samim semenom in zbirko pravil, ki določajo barvo obdajajočih ga kvadratkov naslednje "generacije"; se na računalniškem zaslonu porajajo strukture, ki so presenetljivo podobne naravnim snežinkam. Podobnost z naravnimi snežinkami je tolikšna, da se ob tem postavlja vprašanje: Ali narava tvori svoje zapletene oblike na način, ki je podoben matematičnemu procesu?





Langtonov razvojni model rastlinskih listov in cveta. Zgornja vrstica prikazuje žični model organskih struktur. Spodnja vrstica prikazuje iste strukture z zapolnjenimi površinami.

⁶ Charles E. Taylor je v članku "Fleshing out' Artificial Life" II (glej zbornik **Artificial Life II**, Addison-Wesley, 1992) strnil spoznanja z druge konference o umetnem življenju in razdelil oblike umetnega življenja v nekaj osnovnih skupin. Ta delitev je vodilo za razvrščanje oblik tudi v tem članku.

⁷ Karl Simms je prejel grand prix Ars Electronice tudi leto prej za računalniško animacijo **Panspermia**, vendar je bila ta animacija narejena s "klasičnimi" orodji in ne s pomočjo genetičnih algoritmov, ki so bili uporabljeni v **Primordial Dance**.

"V fiziki poteka napredek z razstavljanjem stvari, v računalništvu pa z njihovim sestavljanjem. Morda imamo analitično znanost računanja, toda kot se je izkazalo, smo se naučili več s sestavljanjem termostatov in računalnikov kot pa z razstavljanjem opičjih možganov in žabjih oči."

Danny Hillis

processe v simulirani kemični juhi. S svojo enostavnostjo so ti molekularno evolucijski sistemi pravi antipod high-tech robotom, ki so produkt vrhunske tehnologije in so namenjeni simuliranju obnašanja visoko razvitih organizmov. Obstaja več variant avtokatalitičnih mrež, od katerih je mogoče najbolj zanimiva Eigen-Schusterjeva. Njuna teorija predpostavlja obstoj hiperciklov, med seboj povezanih mrež RNA (ribonukleinskih kislin), ki dovolju-

jejo koherentno evolucijo funkcionalno v pare povezanih samoreplicirajočih se entitet. Vsi naravni živeči sistemi vsebujejo hipercikle, teoretično pa je razred hiperciklov precej širši, saj dovoljujejo nastanek entitet, ki obstajajo v nekakšnem limbu, na meji med živim in neživim. Simulacija hiperciklov s pomočjo avtokatalitičnih mrež nam omogoča vpogled v prvotno genozo in bo v mnogočem pomagala razvozlati skrivnost te primordialne juhe. Drug, podoben sistem, ki ima drugačno matematično osnovo, so *celični avtomati*, danes že legenda med hackerji in ustvarjalci sistemov umetnega življenja. Njihova zgodovina pa sega globoko v korenine evolucije strojev, v obdobje, ko so nastajali prvi računalniki.

V začetku dvajsetega stoletja se je izoblikovala abstraktna matematika, izvrstno orodje za opisovanje modelov različnih naravnih in nenaravnih procesov, z njo pa se je razvila tudi teorija avtomatov. Alan Turing je v petdesetih letih tega stoletja razvil teorijo avtomatov še naprej in postavil temelje za nastanek računalnikov, prvih strojev v zgodovini, ki so lahko uspešno simulirali poljubne sisteme in s tem tudi naravne procese. Iz del Churcha, Kleena, Goedla, Posta in Turinga je pozneje nastal koncept abstraktne krmilne strukture v računalniku, "programa", logičnega zaporedja enostavnih ukazov iz končnega nabora, s katerimi lahko opišemo sistem. Dvajset let pozneje so nastali tudi prvi pravi računalniki, ki so omogočili praktično izvedbo teh idej. Od tedaj naprej se v zasnovi delovanja računalnikov ni kaj prida spremenilo. Štafetno palico razvoja je prevzel software, skupek programov, ki definira obnašanje računalnika.

Orodja za razvoj in izvajanje softwara, ki so bila sprva precej navezana na strojno zasnovo računalnika in so omogočala reševanje le enostavnih računskih nalog, so sčasoma postala neodvisna od baze,

računalnika. Danes omogočajo celo hkratno nastajanje številnih virtualnih okolij, virtualnih svetov, v katerih ne veljajo omejitve našega sveta, kot so realni potek časa ali tri razsežnosti prostora. A kljub temu je večina truda pri ustvarjanju programov danes še vedno usmerjena v razširjanje človekovih sposobnosti. Računalništvo se danes močno navezuje na medije, na primer multimedijo, in se vse bolj tudi spreminja v množični medij. Računalniki so danes človekov podaljšek in s tem pravi medij tudi po McLuhanovem⁸ merilu. V prihodnosti bo računalnik v vsakem domu imel podobno vlogo, kot jo ima danes TV, in obratno.⁹

Morda pa prihodnost le ne bo takašna. Danes že obstajajo poizkusi izvajanja izvirnega obnašanja v računalnikih in mešanja lastnosti, preslikanih iz človeškega spektra logike, z računalniško ustvarjenimi vzorci. Raziskovalci, med njimi Christopher Langton, vodja programa Umetno življenje na Inštitutu Santa Fe, uporabljajo računalnike za simuliranje kompleksnih nelinearnih sistemov, kot so nevronske mreže ali celični avtomati. Biologi, denimo Richard Dawkins in Thomas Ray, računalnike vse bolj uporabljajo za raziskovanje življenja in v njih kuhajo primordialne juhe, iz katerih nastajajo nove oblike življenja, nekatere podobne zemeljskim biološkim oblikam, nekatere pa povsem prilagojene elektronskemu okolju. Kemiki, fiziki, geologi in drugi alkimisti modernega časa se danes družno ženejo proti skupnemu cilju - stvaritvi umetnega življenja v računalnikih. Novi, nelinearni pristop k ustvarjanju programov in algoritmov, ki ga uporabljajo ti raziskovalci možnega življenja, je v zasnovi precej drugačen od dosedanjih principov.

Načelo modularnega programiranja je, da vsak modul opravlja določeno nalogo. Vsota opravi vseh modulov pa daje končni videz in delovanje programa, kar je značilnost linearnih sistemov. Pri nelinearnih sistemih pa je stvar precej bolj zapletena, saj so moduli vzporedno vezani v mrežo in nelinearno odvisni: lahko komunicirajo med seboj ali pa tudi ne. Povezave pri teh sistemih so povečini nedeterministične (niso vnaprej definirane), neizračunljive (takšni sistemi so ponavadi preveč kompleksni), naključne in lahko nastanejo na

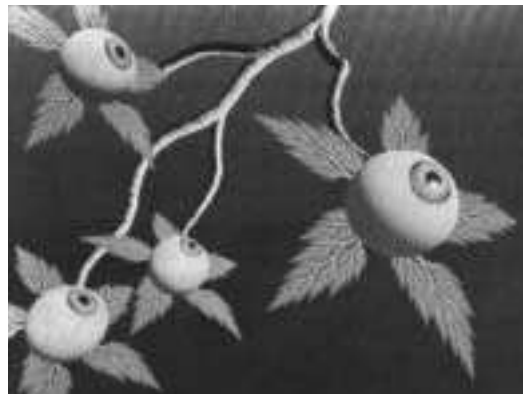


Peter Oppenheimer:
Malinov vrt v Kyotu
(računalniška grafika).

⁸ Marshall McLuhan je eden najpomembnejših ameriških sociologov, ki danes velja za klasično referenco v preučevanju medijev.

⁹ Prvotno idejo o navezavi računalnik-TV je podal Nicolas Negroponte, ki je osnoval Media Lab na Massachusetts Institut of Technology (M.I.T.).

Peter Oppenheimer: **Štiri oči**
(računalniška grafika).



novo ali izginejo. Pri opazovanju tovrstnih sistemov velja Heisenbergovo načelo nedoločljivosti, saj če opazujemo rezultate, so povezave nerazvidne, in če opazujemo povezave, je rezultat nepredvidljiv. Eden najbolj znanih primerov, ki nam to nazorno pokaže, so celični avtomati, ki jih poznamo tudi po kulturni računalniški igri *Life*. Zgodovina teh avtomatov, ki na enostaven način simulirajo preproste lastnosti življenja, sega v obdobje pionirskega raziskovanja v računalništvu. Legendarni madžarski matematik John von Neumann je že od začetka tega stoletja spreminjal tek zgodovine, sprva v teoriji abstraktne matematike in atomski fiziki, nato v ustvarjanju jedrskih reaktorjev in v zasnovah računalništva. Von Neumann je Turingovo idejo o univerzalnem računalniku razširil v koncept stroja, ki

“Še vedno je potreben kanček zaupanja, če želimo verjeti, da von Neumannov rezultat pomeni, da je fizično mogoča reprodukcija univerzalnega računalnika. Vzeli smo kemične dele živih stvari in iz njih naredili vitalne dele (npr. gene), toda še vedno nismo uspeli generalizirati skrivnosti živih stvari glede na nežive tvore, ki smo jih oblikovali sami (z neživimi mislim od človeka ustvarjena bitja, brez evolucijske zgodovine; bitja, ki ne spadajo v biološko kraljestvo). Verjamem, da nam bo uspelo, kajti ta kanček je zelo majhen in zaupanje bo upravičeno. Vidim gozdove kot skupine neorganskih dreves. Vidim stavbe, ki se gradijo same, rastejo iz ene same opeke-jajca. Vidim robote, ki se reproducirajo in rastejo.”

Alvy Ray Smith

umetne realnosti ne bi le simuliral, temveč jo tudi ustvarjal. Hipotetični stroj, ki naj bi to počel, je poimenoval *univerzalni konstruktor* - po Turingovi ideji o *univerzalnem računalniku*. Univerzalni konstruktor naj bi bil robot, ki plava nad bazenom, polnim rezervnih delov, in se dograjuje ali ustvarja svojo kopijo. To idejo je v šestdesetih in sedemdesetih letih Ivan Sutherland, pionir računalniške grafike, ki se je ukvarjal predvsem z vizualnimi simulacijami, predelal v koncept popolnega zaslona (ultimate display), ki je računalniško krmiljeni zaslon in ki projicira materialne objekte (ne le vizualno, temveč tudi topljivo). Na podlagi Sutherlandovega dela so pozneje razvili virtualno realnost (ali navidezno resničnost).

Toda von Neumann je ubiral druga pota. S kolegom (z losalamoškega nacionalnega laboratorija) Stanom Ulamom

sta idejo o univerzalnem konstruktorju spravila v formalnologično obliko - celične avtomate. Celični avtomat (ali CA) je N -dimenzionalna mreža, kjer je v vsakem predalčku en končni avtomat. Vsak od teh avtomatov uporablja stanja drugih avtomatov iz svoje končne lokalne okolice kot vhodne podatke in glede na njih spreminja svoje stanje (izhod) po vnaprej določeni prehodni funkciji Δ . Vsak končni avtomat je torej sestavljen iz končnega nabora celičnih stanj S , končne vhodne abecede a in prehodne funkcije Δ , ki je preslikava nabora sosednih stanj v nabor stanj celice. Če je n število celic, katerih stanja sestavljajo vhodne podatke, potem velja preslikava:

$$\Delta : \Sigma^v \rightarrow \Sigma, \text{ pri čemer velja} \\ a = \Sigma^v \text{ in } |a| = |\Delta| = |\Sigma^v|.$$

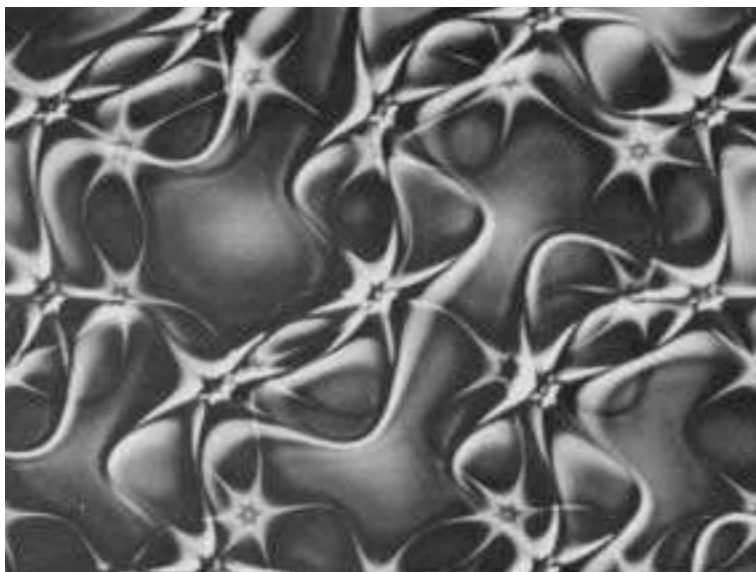


Celice so na računalniškem zaslonu ponavadi ponazorjene s kvadratki ali pikami, njihovo stanje pa z barvo, ki lahko predstavlja stopnjo aktivnosti celice (npr. če je kvadrat črn, je celica "mrtva"). Ob času nič računalnik naključno razporedi celice po vnaprej definirani matriki v spominu, katere preslikavo vidimo na zaslonu, nato pa s časom simultano spreminja stanja celic glede na definirane prehodne pogoje (npr. če so ob "živi" celici natančno tri druge, ki so "žive", celica preživi, sicer umre¹⁰). Kljub enostavnosti algoritmov, ki so od enega diskretnega časovnega koraka do drugega popolnoma deterministični, nastajajo nepredvidljivo zapleteni vzorci in oblike, ki se lahko samoohranjajo, samorazmnožujejo, premikajo po matriki, "jedo"

*Računalniška grafika, ki prikazuje rastlino v tridimenzionalnem virtualnem prostoru, del interaktivne računalniške instalacije **Interaktive plant growing**, Christe Sommerer in Laurenta Mignonneauja.*

¹⁰ To pravilo velja za igro **Life**.

Z uporabo mehanike naravne selekcije zmore sistem tvorjenja računalniških genetskih slik, ki ga je razvil Karl Sims, dobesedno evolvirati slike. Uporabnik lahko enostavno izbere mutirajočega potomca naključno generiranih staršev, in ponovi proces. Končni potomci so lahko prav presenetljivi (slika desno in slika desno zgoraj).



svoje sosede ipd. Vendar uporaba celičnih avtomatov ni omejena na zabavne sisteme, ki se vsakič drugače začnejo in razvijajo ter tvorijo lepe dinamične slike na zaslonu; uporabna je še v mnogih drugih sistemih, kjer imamo opraviti z naključnostjo. Celični avtomati so izvrstni generatorji naključnih števil in se danes uporabljajo za testiranje tako hardwara kot softwara. To pa je le ena od možnosti uporabe. Christopher Langton, eden od vodilnih raziskovalcev umetnega življenja, po mnenju mnogih oče te nove znanstvene discipline, je uporabo celičnih avtomatov razširil na tvorjenje umetnih živečih entitet. Langton¹¹ opisuje celične avtomate (CA) kot:

- prostorsko razširjene nelinearne dinamične sisteme, ki tvorijo cel spekter dinamičnih obnašanj, od fiksnih točk preko sklenjenih ciklov do popolnoma razvitega kaosa;
- s CA lahko uresničimo koncept univerzalnega računalnika, najbolj zapletenega znanega razreda v informacijski dinamiki;
- CA imajo lastnosti fizičnega sveta, so nekakšna "programabilna snov", torej, kar zveemo o dinamiki informacij v svetu celičnih avtomatov, bo veljalo tudi za dinamiko informacij v realnem svetu.

Podrobnejšo klasifikacijo in natančnejšo kvalitativno razliko med celičnimi avtomati in njihovo povezavo z dinamičnimi sistemi je podal fizik Stephen Wolfram,¹² ki je CA razdelil v štiri razrede:

I. razred so CA, ki se razvijejo v fiksno, homogeno stanje - točke (*limit points*) v dinamičnih sistemih;

II. razred so CA, ki se razvijejo v enostavne periodične strukture, ki med seboj niso povezane - sklenjeni cikli ali zaključene krivulje, ki opisujejo te strukture (*limit cycles*);

¹¹ Po Langtonovem članku "Life at the edge of chaos" v zborniku **Artificial Life II**, ki je nastal na osnovi predavanj na drugi konferenci o umetnem življenju v Santa Feju leta 1990.

¹² Wolfram, S., "Universality and Complexity of Cellular Automata." **Physica**, št. 10, letnik 1984, str. 1-35.



III. razred so CA, ki se končajo v neperiodičnih kaotičnih vzorcih - kaotično obnašanje, ki je ponavadi povezano s fraktalnimi ali "čudnimi" atraktorji (*strange attractors*);

IV. razred so CA, ki se končajo v kompleksnih vzorcih lokaliziranih struktur - zanje (po Wolframu) še ne obstaja analogija med dinamičnimi sistemi, saj je od vseh razredov ta najmanj raziskan.

In ravno ta, četrti razred je zanimiv za raziskovalce umetnega življenja, ker vsebuje pravila, ki povzročijo najbolj kompleksna obnašanja.

Kompleksnost vzorcev, ki jih ustvarjajo celični avtomati četrtega razreda, je Johna Conwaya navdihnila, da je konec šestdesetih let ustvaril eno prvih računalniških iger in jo poimenoval *Life*. Čeprav je *Life* neinteraktivna igra, v kateri igralec ne sodeluje, temveč le opazuje dogajanje, je zaradi raznolikosti vzorcev in njihove unikatnosti - igra se vsakič drugače začne in razvija - med računalnikarji postala kulturna. Ena najbolj presenetljivih struktur, ki nastajajo v igri *Life*, je Drsalec (*Glider*), kvazi-periodični skupek celic (s periodo 4 korakov), ki se sprehaja po matriki (zaslonu) in "požira" celice pred seboj. Obstaja še kopica drugih podobnih sistemov, ki so bili sprva računalniške igre, kot so *Core Wars*, *Water*, *Flibs* in *3D-Life*, in uporabljajo zelo podoben pristop k tvorjenju kompleksnega obnašanja kot *Life*. Ustvarjanje umetnega življenja je bilo tesno navezano na računalniške igre. To ni presenetljivo, saj so se znanstveniki do danes s tem problemom ukvarjali le v prostem času.

Med hackerskimi krogi krožijo mnoge računalniške igre, ki v marsičem spominjajo na umetno življenje. Ena najbolj znanih

*Kot pravi propagandni letak za računalniško igro **SimLife** (slika desno), je le-ta genetsko igrišče, ki podira pregrade med igrami in simulacijami, med igranjem in učenjem - celo med stroji in živimi bitji. Popelje vas lahko tja, kjer še nikoli niste bili in vam podari moč ustvarjanja - ustvarjanja življenja.*

je *Core Wars*, gladiatorska igra 21. stoletja. V informacijski dobi so gladiatorji izgubili svoj oklep in telo ter postali računalniški programi, ki se ne borijo za svobodo, temveč za svoj prostor pod soncem v matriki računalniškega spomina. V tej igri ni milosti in programi neusmiljeno uničujejo svoje konkurente, dokler ne ostane le en absolutni gospodar matrične arene. Trik, ki jim to omogoča, je v kvalitetnih samoohranitvenih algoritmih, ki se uspešno samoreplicirajo in so zelo podobni umetnemu življenju. *Core Wars*, procesorske vojne, so danes zelo priljubljene med hackerji, ki organizirajo festivale, kjer se cele čete programov spopadajo v jedru kakšnega mainframe sistema.

Drugi produkt hackerske imaginacije, ki je lahko enako brutalen, a precej manj kontroliran, so *računalniški virusi*.

Prvotna zamisel hackerjev, ki so ustvarili prve viruse, je bila posmehovanje kolegom in neizkušnim uporabnikom računalnikov. Nič hudega slutečemu uporabniku računalnika se je na ekran izpisalo posmehljivo sporočilo ali pa so mu začele "padati" črke z zaslona. Zadeva je bila še toliko bolj zanimiva, ker so hackerji podtikali tudi viruse, ki so se skrili v spomin in se sami pognali ob določeni uri ali dnevu ali celo naključno. Zmedeni uporabniki so panično iskali pomoč strokovnjakov, hackerji pa so za vogalom opazovali in se zabavali.

Danes obstaja že veliko različnih računalniških virusov, ki so evolvirali v črve, bakterije, zajce in podobno menažerijo. Imajo veliko lastnosti, značilnih le za živa bitja, kot so samoreplikacija, nepredvidljivost in zmožnost

evolviranja. Christopher Langton, eden vodilnih strokovnjakov na področju umetnega življenja, opisuje primer, ko sta se virusa spontano združila v nov, drugačen virus. Zaradi svoje prilagodljivosti so računalniški virusi najbolj razvpite oblike umetnega življenja in v mnogočem dejansko spominjajo na viruse. A kot v realnem, biološkem svetu, obstajajo tudi virusi, ki so maligni, nekateri celo destruktivni, kar meče precej neugodno luč na ta sicer zanimiva bitja.

Christopher Langton je nadaljeval delo Johna von Neumana, saj je idejo celičnih avtomatov razvil še naprej, v novo filozofijo v tvorjenju umetnega življenja. Ko je v laboratoriju Massa Generala za psihiatrične raziskave delal kot sistemski programer, je skušal na enem računalniku simulirati operacij-

"Ustvariti želim popolnoma avtonomnega mobilnega agenta, ki bi soobstajal v svetu ljudi in bi ga ti ljudje obravnavali kot inteligentno bitje s svojimi lastnimi pravicami. Te agente bi imenoval Bitja. To je moja intelektualna motivacija. Nobenega posebnega interesa nimam pokazati, kako delujejo človeška bitja, pa čeprav so ljudje, kot tudi druge živali, zanimivo področje raziskovanja v tem prizadevanju in tudi sami po sebi neke vrste agentje. Nobenega posebnega interesa nimam glede aplikacij; jasno vidim, da bodo ta Bitja omejena ne z vrsto in dometom aplikacij, ampak le z našo lastno (ali pa njihovo) domišljijo. Nimam tudi kakega posebnega interesa za filozofske implikacije teh Bitij, čeprav je jasno, da bodo implikacije kar pomembne."

Rodney A. Brooks

GET A LIFE!



SIM LIFE THE GENETIC PLAYGROUND BREAKS THE BARRIERS BETWEEN GAMES AND SIMULATIONS, PLAYING AND LEARNING—EVEN BETWEEN MACHINES AND LIVING BEINGS. ONCE AGAIN, MAXIS, THE CREATORS OF SIMCITY® AND SIM EARTH®, TAKES YOU WHERE YOU'VE NEVER BEEN AND GIVES YOU THE POWER TO CREATE—THIS TIME TO CREATE LIFE ITSELF.

SIM LIFE IS FUN. You design creatures from the depths of your imagination and influence how they look, act and eventually evolve. Then, set them loose in your custom ecosystem and test their ability to survive. Six different game scenarios challenge you to solve problems—ranging everything from food chain management to genetic manipulation.

SIM LIFE IS EXPERIMENTAL. Design your own experiments using simulated environments, ecosystems, genetics, evolution, life and behavior. You can even control time and physics! Witness the cause and effects of your decisions and discover the delicate relationships that exist between living beings.

SIM LIFE IS ARTIFICIAL. Using the latest advances in Artificial Life research, SimLife simulates a complete ecosystem, right down to individual genes. Plants and animals interact with each other and their environment as they do in the "real world." They even mutate and evolve into new species.

In SimLife, you get the chance to create life in a unique way, but beware—it's up to you to keep your species off the endangered list.



Give life to different species in the SimLife world and customize their traits with the Gene Editor.



Design your plants and animals to survive in specific, changing worlds.



Use your wild creation tool to create amazing landscapes.

MAXIS



sko strukturo in funkcije drugega računalnika. Da bi simulacijo lahko izpeljal, je ugotovil, da mora delovanje nekega stroja pretvoriti v končno število ukazov - skupek abstraktnih logičnih povezav. Pri tem se mu je porodila ideja - ali sploh obstaja kaj, česar delovanja ni mogoče simulirati na takšen

¹³ Glej pogovor s Christopherjem Langtonom v pričujoči številki.

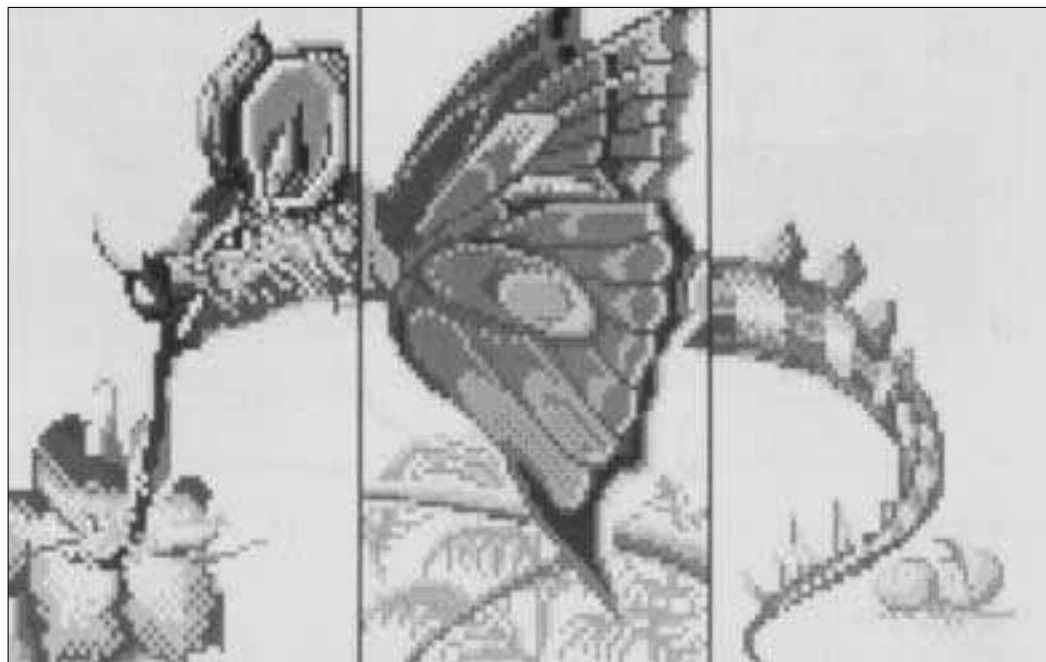
način. Kaj pa je sploh življenje potemtakem drugega kot velika količina v bistvu mrtve materije, organizirane tako, da se na neki čuden način pojavljajo procesi, ki tvorijo življenje? Če lahko natančno simuliramo vzorce ali strukturo živečih bitij - ali niso te simulacije na neki način žive? Znanstvena skupnost danes šteje Christopherja Langtona za očeta umetnega življenja in von Neumannovega naslednika.¹³

A to je le eden od virov nove znanstvene discipline, ki ima svoje korenine v še mnogih drugih vedah in idejah. Med tistimi, ki so v mnogočem vplivali na razvoj umetnega življenja, je tudi ameriški biolog Richard Dawkins, avtor knjig *The selfish Gene* (Sebični gen), *The Blind Watchmaker* (Slepi urar) in drugih; vse so izjemno pomembne za razvoj tako biologije kot tudi umetnega življenja.

Ob Dawkinsu so k razvoju polja prispevali še mnogi drugi: Marvin Minsky, oče umetne inteligence, Hans Moravec, pionir robotike, Aristid Lindenmayer in Przemyslaw Prunsiakiewicz, avtorja L-sistemov, ki so danes ena glavnih računalniških vizualizacijskih metod za naravne oblike.

Glavne oblike umetnega življenja danes so razdeljene v več skupin. Ena od njih so računalniški virusi, ki jih poznamo na osebnih računalnikih, obstajajo pa tudi v večjih računalniških sistemih, kjer se imenujejo črvi, bakterije ali zajci. Druga skupina so evolvirajoči računalniški procesi - simulatorji evolucije znotraj računalnika in se večinoma uporabljajo v edukativne namene. Tretja skupina so "biomorfi", po Dawkinsu, ali nasplošno onto-

Eno mnogih čudežnih bitij, ki jih lahko ustvarite na genetskem igrišču računalniške igre SimLife.

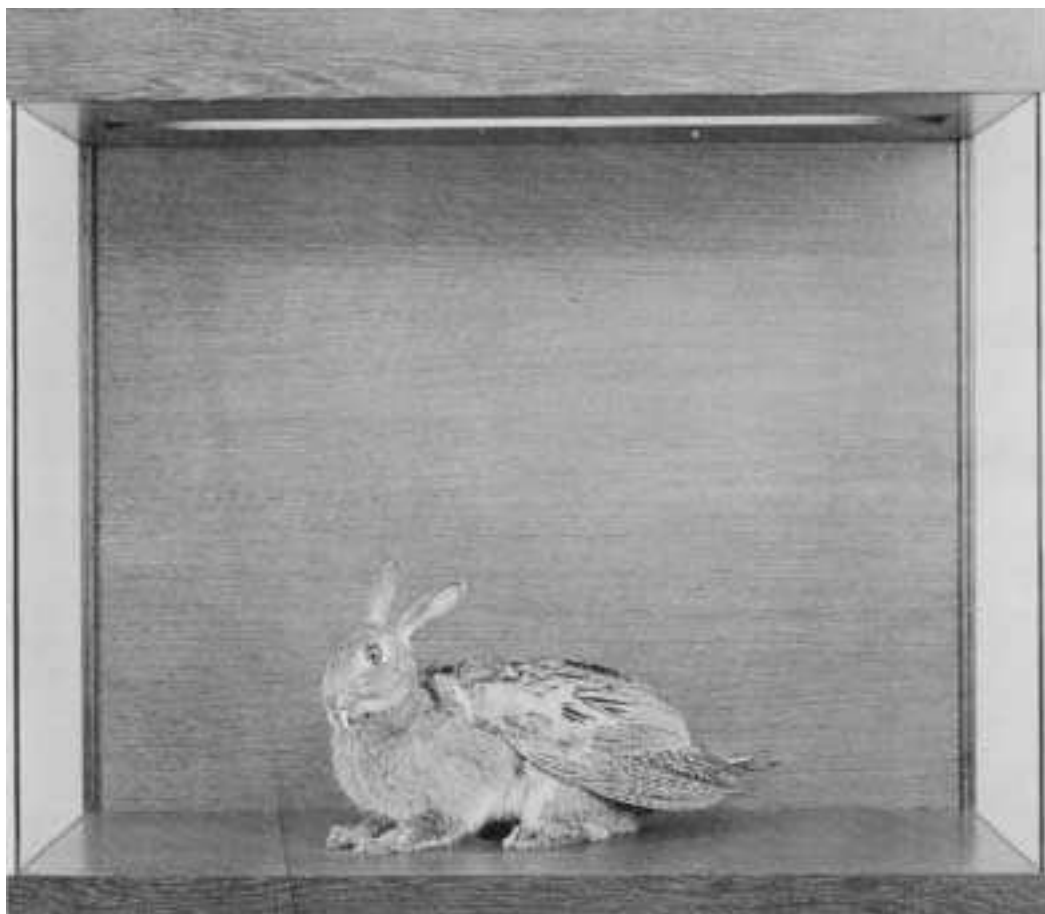


genetično realistični procesi, ki so podobni evolvirajočim računalniškim procesom, le da je pri njih poudarek na morfogenetični evoluciji. Tipični primer teh procesov so L-sistemi. Četrta skupina so mikro- in nanostroji, miniaturni roboti, ki se lahko sami reproducirajo in kolektivno opravljajo naloge. Danes je ta tehnologija, ki se še razvija, predvsem še v zamisli Erica Drexlerja, vodilnega teoretika na tem področju. Obstajajo pa že prvi rezultati, ki potrjujejo možnost razvoja te zanimive nanorobotike. Peta skupina so umetni nukleotidi, kemično sintetizirane DNA (dezoksiribonukleinske kisline) in drugi umetno sintetizirani prenašalci genetskega materiala, ki tvorijo umetne življenjske oblike. Šesta skupina pa so avtokatalitične mreže in celični avtomati, s katerimi se ukvarja večinoma Christopher Langton.

UMETNO ŽIVLJENJE *IN VITRO*

Umetno življenje pa ne obstaja le kot evolvirajoča entiteta v virtualnem prostoru računalnika ali *in silico*, temveč tudi *in*

*Igra narave ali stvaritev
umetniške imaginacije?
Thomas Grünfeld: misfit III,
1989/90.*



vitro, v epruvetah genetskih inženirjev. Še v šestdesetih letih so genetiki v epruvetah kombinirali do tedaj znane molekule, da bi sprožili sintezo RNA (ribonukleinskih kislin). Produkt njihovega dela je bila kopica sintetičnih neorganskih molekul, encimov in prva kopija RNA strukture bakteriofaga, virusa, ki parazitira v bakteriji. To odkritje je bilo zelo pomembno, saj je oprlo nove možnosti za genetske eksperimente. Ti virusi namreč lahko ob določenih pogojih spremenijo genetsko zasnovo celice ali bakterije, v kateri parazitirajo.

Naslednji korak v razvoju genetike sta napravila Cech in Altman, ki sta odkrila, da nekatere RNA lahko povzročajo reakcije in se hkrati replicirajo. To je omogočilo razvoj genetskega inženiringa, ker so genetiki lahko ustvarili pravi software, genetski program v epruveti. Pozneje so odkrili še polimerazno verižno reakcijo, ki je omogočila nadgrajevanje DNA (dezoksiribonukleinskih kislin) in s tem celotnega

genetskega koda tudi v kompleksnejših organizmih. To pa ne pomeni, da je danes možno s pomočjo genetskega softwarea ustvariti poljuben organizem. Medsebojno delovanje genov, hipercikli in genetska evolucija so še vedno nezadostno raziskani. Obstaja tudi vprašanje etičnosti, saj znanstveniki ne morejo v svojih laboratorijih ustvarjati različnih pošasti in Frankensteinov ter jih potem, ko se poizkus ne izteče dobro, vreči v smeti. Današnja genetika operira z živimi bitji, ki ne smejo biti prikrajšana za pravico do svojega obstoja. Zato se danes vse več uporabljajo računalniške simulacije življenja, ki še vedno nimajo statusa živih bitij.



Serija šestih slik neantropomorfnih robotov Marka W. Tildna. Njihova velikost je razvidna iz primerjave s kovancem za 1 cent.

ROBOTI - ANTROPOCENTRIČNA ZABLODA?

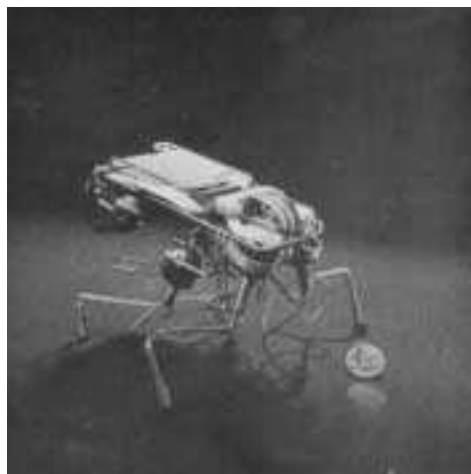
Računalniki pa niso edini stroji, ki simulirajo življenje podobne procese. Obstajajo stroji, ki v naši realnosti posnemajo življenje, roboti. Ta okorna kovinska bitja so danes v človeški kulturi že sinonim za umetno življenje, in večina ljudi si ga predstavlja kot karikirano kopijo človeka, ki se ob glasnem brnenju počasi in opotekajoče premika ter s kovinskim zvenom jeclja napol razumljive besede. Zaradi farsične predstave teh kovinskih Charliejev Chaplinov si je filmska industrija omisllila že njihove naslednike, androide, kot je *Terminator*, ki so na videz enaki ljudem, a globoko v sebi skrivajo kovinski skelet. Ta skrita kovinska konstrukcija je nujna, sicer gledalec ne bi mogel razločiti med igralci "androidi" in igralci "igralci".

V zgodovini se je že večkrat zgodilo, da je fikcija postala vodnica realnosti in se s tem vanjo tudi prelila, toda pri robotih se to ni zgodilo. Fikcija je s konceptom androidov popolnoma zgrešila bistvo. Če je robot ali android oblika življenja, ki jo ustvarimo umetno, potem v to skupino spadajo tudi človeški kloni in otroci iz epruvete. Torej po tej logiki androidi že živijo med nami. Nekaj gnilega je v tej formalnologični definiciji robotov. Zakaj bi ustvarjali tkiva, ki so podobna človeškim, iz umetnega materiala, če lahko kloniramo izvirna tkiva? Enako bi bilo, če bi skušali narediti disketno enoto iz lesa.

Če se poglobimo v korenine robotske evolucije, ugotovimo, da je ta zašla v slepo ulico ravno zaradi takšnega, antropocentričnega pristopa. Roboti doživljajo danes svojo reinkarnacijo v popolnoma drugačni obliki. Stroji so veliko bolj fleksibilni od ljudi, ki so ujeti v svoje ranljivo, smrtno telo, podpovprečno razvito v primerjavi z drugimi živalskimi vrstami. Ker je stroj, ki ga vodijo strojni možgani - računalnik, sposoben simulirati katerikoli drug stroj, lahko zavzame tudi kakršnokoli obliko. Ena od oblik, ki bi vsestransko izkoriščala fleksibilnost strojev, je drevesu podoben mikromanipulatorski robot.

Vsak prst tega robotskega bitja bo imel prste. Ti se bodo dalje delili v ponavljajočem se vzorcu v vse manjše do velikosti mikrona, kolikor bodo veliki najmanjši manipulatorji - prsti. To bitje iz plastike in kovine bo pri vstopanju skozi vrata skrčilo svoje veje, v sobi pa se bo razširilo v svojo običajno velikost - meter osemdeset. Hans Moravec z robotskega inštituta Carnegie-Mellon in avtor knjige *Mind children* (Utroci uma) pravi, da bodo ta drevesu podobna bitja imela nadvse izostren občutek za dotik, saj bo v členu vsakega prsta mikroročunalnik, ki bo krmilil elektrostatične servomotorje in senzorje na vrhovih prstov. Drseč s prsti po fotografiji bodo ti majceni občutljivi organi razvili sposobnost razlikovanja razvitosti srebra na papirju in si s tem "ogledali" fotografijo. In če bo bitje potrebovalo oko, ga bo oblikovalo s križanjem svojih prstov - tako na drobno, da bo sprejemalo svetlobo podobno kot leča.

Drug vidik tega nesmrtnega bitja bo zmožnost simuliranja človeških misli in shranjevanja človeških spominov tako natančno, da bo v mnogočem res lahko zamenjalo koga izmed nas. Po Moravčevem scenariju bodo ljudje te robote ustvarili korak za korakom. Prapradedek tega robotskega bitja, ki bo ustvarjen med leti 2000 in 2010, bo imel možganske sposobnosti kuščarja in nikakršnih lastnosti osebnosti. Naslednja generacija



¹⁴ Eric Drexler je učenec legendarnega Marvina Minskega in zdaj tudi njegov sodelavec na M.I.T.

robotov se bo učila iz izkušnje, tretja generacija pa bo sposobna takojšnje simulacije opravila, ki ga bomo od njih zahtevali, in z lahkoto opravljala zapletena navodila. Ob koncu naslednjega stoletja, nadaljuje Moravec, bo robot četrte generacije - mikro-manipulatorski inteligentni robot - dovolj sposoben, da bo izdeloval svoje replikante in oblikoval vesoljske ladje. Ta visoko inteligentna bitja, sposobna zelo podobnega razmišljanja kot ljudje, bodo začela dolgo in nevarno pot skozi vesolje in pustila Zemljo kot človeški rezervat.

Na tej točki bodo ljudje - organska smrtna bitja - želeli spremeniti svoja razmišljanja in čustva, svojo bit v ladjo nesmrtnega mehanizma. Sčasoma, seveda, bodo ljudje s svojimi laboratorijskimi stvaritvami dosegli svojo nesmrtnost. Moravec predvideva, da bo možna tudi združitev človeka in stroja s pomočjo izurjenega robota kirurga. Kirurgovo delo bo preseljevanje možganskih funkcij plast za plastjo v stroj in nato odstranitev neuporabnega biološkega tkiva iz človeškega telesa.

Ti človeško-robotski hibridi ne bodo nujno kot grmovja s trilijon prsti. Vsak bo lahko izbral svoj lastni telesni stil, ki bo sodil v okolje in zadovoljeval osebni estetski okus. Moravec je ugotovil, da njegova ideja vzbuja strah, in se sprašuje - le zakaj? "Kaj za vraga je tako neverjetno pomembno na tem vašem telesu?" pravi izkušeni robotolog. "Če bi bilo uničeno in bi bil na njegovo mesto postavljen natančen robotski nadomestek, vas prijatelji ne bi pogrešali. Vaša družina vas ne bi pogrešala in tudi vaši projekti ne. Torej vas ne bi nič pogrešalo. In tudi vi sami bi bili mrtvi in se torej ne bi pogrešali. Zakaj torej naj bi koga skrbelo?"



NANOSTROJI - MANIPULATORJI NA RAVNI ATOMOV

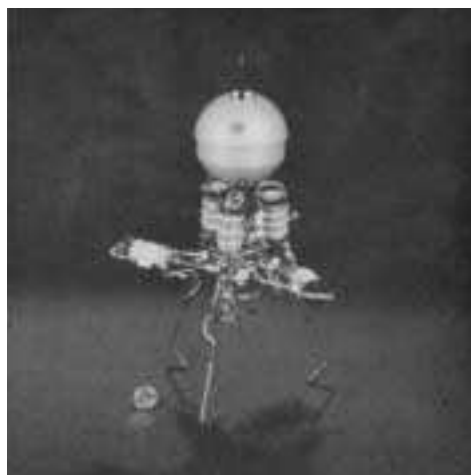
Druga vizija moderne robotike je v miniaturnem svetu nanotehnologije. Za Erica Drexlerja, pisatelja in zunanega sodelavca oddelka za računalništvo na stanfordski univerzi,¹⁴ je nanotehnologija tehnologija prihodnosti, temelječa na mikroskopskih robotih, ki ustvarjajo svoje klone in ki jih krmilijo majhni mehanični računalniki - ti roboti pa lahko manipulirajo z materijo na ravni atomov. Čeprav nanotehnologija v znanstvenem svetu označuje tehnologijo, ki manipulira z objekti, velikimi nekaj sto nanometrov, je v robotiki bolj način razmišljanja, ideologija, način, kako rešiti velike probleme misleč na majhno - zelo majhno.

Po Drexlerjevi knjigi *The Engines of Creation*, ki je nanotehnološki manifest, je osnovno orodje nanotehnologa *assembler*.¹⁵ Asemblerji ne bodo nič večji kot nekaj sto atomov v premeru. Sestavljeni bodo iz zobnikov, katerih zobje bodo atomi, vrteli pa se bodo na oseh brez trenja, narejenih iz enojnih kemijskih vezi. Ti nanostroji bodo opremljeni z računalnikom in robotsko roko in bodo sestavljali materiale in naprave v velikosti molekul - atom za atomom. Asemblerji se bodo lahko reproducirali tako, da bodo ustvarjali svoje lastne kopije. Tako bo potrebno zgraditi le prvi assembler, ki bo potem zgradil druge. En assembler bo prepočasen, da bi ustvaril karkoli večjega od mušjega iztrebka, toda milijarde njih bodo lahko ustvarile karkoli.

Lahko bi zaposlili floto assemblerjev, da bi nam prebarvala avto z diamantnim slojem, debelim en mikron. Material za to (ogljik) bi lahko črpali iz ogljikovega dioksida iz ozračja in ga predelali v diamantno strukturo. Rja in pranje avta bi s tem postali preteklost. Asemblerji bi lahko obnovili ozonski plašč, s tem da bi proizvajali ozon v zgornjih plasteh atmosfere. Lahko bi očistili naftne madeže, s tem da bi nafto pojedli, ali pa bi jo proizvajali iz zraka in morske vode. Eden najbolj zanimivih domnevnih nanostroj je nanosub, naprava, manjša od rdeče krvničke, ki bi lahko plavala po človekovem ožilju in iskala obloge in nanose masti ter jih uničevala. Danes že obstajajo zanesljivi dokazi, da so takšne oblike manipulacije možne. Don Eigler iz IBM-ovega razvojnega laboratorija v Almadenu je uporabil STM (*scanning tunneling microscope*), glavno orodje nanohackerjev, za risanje. Prva produkta te nanoumetnosti sta bila podobica človeka, sestavljena iz molekul ogljikovega monoksida na platinastem platnu, in napis IBM iz ksenonovih atomov na nikljasti podlagi. Podobe na glavi šivanke so 10.000-krat večje od teh risbic. Od sestavljanja ploskovnih sličic do ustvarjanja tridimenzionalnih modelov, skulptur ali assemblerjev pa je le še korak.

Vsaka celica nenehno proizvaja, uporablja in uničuje ogromno število relativno enostavnih nanostrojov, ki jim pravimo proteini. Nekateri od njih so strukturalni, drugi izvajajo kemične reakcije, tretji prenašajo sporočila. Toda proteini so skoraj vedno enonamenske naprave in rabijo skoraj vso celično mašinerijo, ki jih ustvarja in krmili. Noben protein pa ne more početi vsega, kar naj bi počeli assemblerji. Nanotehnologija ob svojih dobrih straneh obeta tudi dejansko neomejene

¹⁵ **Asembler**: molekularni stroj, ki ga lahko programiramo tako, da ustvari kakršnokoli molekularno strukturo ali napravo iz enostavnih kemičnih gradnikov. Je analogen računalniško vodenemu skladišču strojev. (Prim. Eric Drexler: **Engines of Creation**, Oxford University Press: Oxford 1992.)





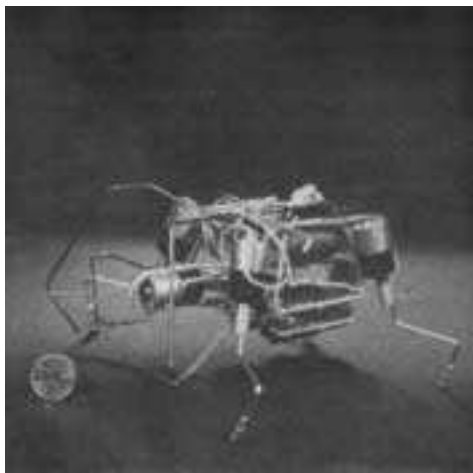
možnosti manipulacije. Med znanstveniki obstajajo močni zadržki proti nanotehnologiji, eden najbolj znanih pa je problem *sivega oblaka* (angl. *Grey Goo*⁶). Nanostrojji so zmožni samorepliciranja, in če ta proces ne bi bil kontroliran, bi se asemblerji lahko eksponentno množili v neskončnost, dokler ne bi predelali vse materije v vesolju v velikanski oblak, sestavljen iz nanostrojjev.

Toda kar je za nekatere najhujša groza, je za druge nujen korak v evoluciji. Za nekatere znanstvenike je ultimativna evoliucijska oblika bitja kozmični oblak. Ta oblak bo velik kot planet, čeprav bodo lahko današnji ljudje hodili skozi železne delce v velikosti semen,

ki bodo sestavljali njegov brobdingnanski okvir. To velikansko bitje, ki bo živelo v nezapoljenih vesoljskih razsežnostih, bo prijatelje pozdravljalo z eksplozijami sončne energije in pihalo vodikov plin, da bi odgnalo vesoljske črepinje. Pred več kot desetletjem je fizik Freeman Dyson, na osnovi ideje astronoma Freda Hoyla razmišljal, da bi zadnji stadij evolucije lahko imel obliko velikanskega inteligentnega črnega oblaka. "Predvidevam, da bodo strukturalne enote takega bitja preprosto delci prahu," pravi Dyson, "najbrž bodo železni ali pa iz kakega drugega pripravnega materiala, medsebojno pa bodo vplivali in nasploh delovali z električnimi in magnetnimi silami. Taka bitja bodo tako kompleksna ali pa morda še bolj kot ta, ki jih vidimo okoli nas v tem trenutku."

V nekem intervjuju je fizik z inštituta za napredne študije v Princetону dejal, da bodo senzorni organi tega bitja sestavljeni kot kolekcija trdnih delcev s sposobnostjo odziva na radijske valove, vidno svetlobo in žarke X - večji in bolj zapolnjen

spekter, kot ga lahko zazna človeško bitje. Bitje bi živelo s pomočjo sončne energije ali pa morda medzvezdnih plinov in dolgovalovne radiacijske energije - infrardečih in radijskih valov - s čimer bi lahko izločalo odpadke. "Bitje bi se lahko znebil snovi, ki bi jih imelo za odpadke," pravi Dyson, "kot na primer vodikove stranske produkte in občasno vulkansko bruhanje. Pa bo vesoljski oblak imel občutke? Bo trpel bolečino, se smejal, ljubil ali molil? "Nobenega razloga ni, da ne bi počel vsega zgoraj naštetega ali pa morda nič od tega," pravi Dyson, "lahko, da ne bodo prevzeli nobenega od naših konceptov, ali pa bodo morda z nami delili vse."



Oblak bi lahko evolviral mnogo hitreje, kot smo mi, špekulira Dyson, in Zemljinemu okolju bi lahko napravil še več škode, kot smo jo mi. Na enem od svojih brezciljnih tavanj po vesolju bi lahko parkiral med Zemljo in Soncem in tako povzročil hladno senco ostanku anahronskih ljudi v še vedno trdni organski obliki.

SKLEP

Nove umetne živeče entitete in genetski inženiring bodo v mnogočem zaznamovale družbo enaindvajsetega stoletja, saj že danes vplivajo na okolje, v katerem živimo. In le čas bo pokazal, kakšne posledice bodo pustile te nove tehnologije na človeško kulturno evolucijo.

Čeprav ostaja izvir življenja še vedno zelo daleč od naših zmožnosti dojemanja, pa raziskovanje umetnega življenja nakazuje, da evlucijski procesi morda le niso tako zapleten pojav, kot je veljalo do sedaj. Novi pristopi v simuliranju življenja bodo osvetlili vsaj eno kolesce v vsesplošnem mehanizmu, ki mu pravimo vesolje. Mogoče je prihodnost računalništva v programih, ki bodo skupaj z nami rasli in se razvijali. Pognati je torej treba veliki program Evolucija, in videli bomo, kaj se bo zgodilo.

¹⁶ *Hipotetična snov, sestavljena iz ogromnega števila samorazmnožujočih se robotkov, manjših od enega mikrona, ki so programirani, da ustvarjajo kopije sebe iz česarkoli (kateregakoli materiala iz okolice). Slika, ki si jo lahko predstavljamo ob tem, je celotna Zemljina biosfera, spremenjena v sivo maso (ali oblak) robotkov. To je najenostavnejši od scenarijev nanotehnoške katastrofe, ki ga lahko zlahka ovržemo zaradi pomanjkanja energije in kemičnih elementov (materiala), ki bi bili zanj potrebni. (Prim: Eric Raymond (ur.): **The New Hacker's Dictionary**, MIT Press, 1992, tretji ponatis.)*

Karlo Pirc, publicist in urednik oddaje *Futura* na Radiu Študent.

Thomasu Rayu se zahvaljujem za dovoljenje za uporabo programa *Tierra*.