

Modelování života a organismus uměleckého díla

Aleš Svoboda

Univerzita Karlova, Fakulta humanitních studií
U Kříže 8, 158 00 Praha 5 – Jinonice
ales.svoboda@fhs.cuni.cz

Abstrakt

Příspěvek se na základě kritiky několika úspěšných uměleckých intervencí do simulací umělého života a nového promyšlení smyslu takových simulací ve vztahu k umění stanoví parametry návrhu organismu uměleckého díla. Podobně, jako biologický růst je zasazen do energetických a informačních poměrů ekosystému, je umělecké dílo rovnováhou jistých „energetických stavů“ a souborem jejich hierarchických vztahů.

1 Inteligence vidění

Margaret A. Boden, průkopnice kognitivní vědy, načrtla v úvodu knihy *AI, její povaha a budoucnost* (2016) charakter a smysl předmětu umělé inteligence poměrně jednoduše: „Umělá inteligence (AI) se snaží o to, aby počítače dělaly onen druh věcí, které dělají myslí. / Některé z nich (například uvažování) obvykle charakterizujeme jako „inteligentní“. Jiné zase (například „vidění“) nikoliv. Ale všechny vyžadují duševní dovednosti – jako vnímání, asociaci, predikci, plánování, řízení motoriky – které umožňují lidem a živočichům dosahovat jejich cílů. / Inteligence není jednorozměrná, ale je bohatě strukturovaným prostorem odlišných schopností pro zpracovávání informací. Proto používá AI mnoho různých postupů, určených k mnoha různým úkolům“ (Boden, 2016). Bádání umělé inteligence má dvojí poslání, praktické, aplikované a teoretické, koncepční: „AI má dva hlavní cíle. Jeden je *technický*: používáním počítačů dosáhnout užitečných věcí (někdy za použití metod, které jsou velmi *odlišné* od postupů používaných myslí). Druhý je *vědecký*: používáním pojetí a modelů umělé inteligence napomoci k zodpovězení otázek týkajících se lidských bytostí a jiných živých záležitostí“ (Boden, 2016).

O inteligenci lze uvažovat jako o produktu a rámci předvídatelného jednání. Rozdíl mezi pouhým živočišným reagováním, byť založeným na nějakém druhu ukládání zkušeností dlouhodobé praxe a komplexnější schopností tvořit složité strategie, jejichž jednotlivé etapy nemusí mít vůbec bezprostřední, rozpoznatelnou souvislost s formulovaným cílem, je v tomto smyslu podstatný. Informace, které získáváme

z vypěstované citlivosti ke svému prostředí, se transformují do hypotéz a od aktuálního světa osvobozených alternativ. Je pravděpodobně příznačné, že posun k inteligentnímu chování provází především rozvoj distančních smyslových orgánů, které získávají převahu nad kontaktními. Důvodem může být jednak jejich vyšší strukturovanost, vyšší informační hustota, jednak vytvoření předpokladů pro uvolnění vazby podnětu a odezvy. Bouřlivý rozvoj zraku, jeho přímá vazba na mozek, pro který se zrakový nerv a oko stává vlastně „předsunutou“ součástí, provází osvobození organismu od přímé závislosti na aktuálních jevech, osvobození se od vlády přítomnosti vzruchu. Roste význam zprostředkující informace, která začne být reprezentována znaky, využitelnými pro volné kombinování. „Vnitřní zrak“, směřování k představě, k obraznosti je presumpcí svobodného plánu, ovšem zároveň uvolněním pravdivosti. Odtud jistě také pramení spoléhání se silné AI na symbolickou reprezentaci.

Předvídatost člověka je významně vetknuta do intuice vidění. Z pouhého pohledu na strukturovaný celek spouští člověk řadu reakcí, které obsahují předběžná zhodnocení kontextových situací a jejich možného vývoje. Některé kognitivní teorie umění si všímají skutečnosti, že vnímání uměleckých děl dílem sytí a dílem zdokonaluje tuto schopnost vidění.

2 Modelování života

Sdílíme pragmatickou intuici, respektive neúplnou indukci, že každá inteligence je vázána na nějakou formu biologického života. A proto podobně jako vize umělé inteligence, vzniká i vize umělého života. Bodenová tuto souřadnost postihuje takto: „Umělý život (A-Life) modeluje biologické systémy. Jako AI obecně, má také jak technický, tak vědecký cíl. A-life je neodlučitelný od AI, protože veškerá inteligence, o které víme, se nalézá v živých organismech. A skutečně většina lidí věří, že mysl může vyvstat jenom z života [...]. Zatvrdili technici se o tuto otázku nestarají. Ale obrací se k biologii při rozvíjení praktických aplikací mnoha typů. Tyto aplikace zahrnují roboty, evoluční programování a samoorganizující se zařízení.“ Případně na jiném místě: „Všechny myslí, o kterých víme, se nalézají v živých organismech. Většina lidí – včetně kybernetiků [...] –

věří, že to tak *musí* být. Tedy domnívají se, že mysl nezbytně předpokládá život“ (Boden, 2016).

Předmětem modelování se tudíž stává i život. Jak ale život pojmout. Bodenová samozřejmě připomíná, že „[n]eexistuje všeobecně přijímaná definice života. Ale obvykle se uvádí devět rysů: samoorganizace, autonomie, emergence, růst, adaptace, citlivost, rozmnožování, vývoj a metabolismus. Prvním osmi lze rozumět jako informačnímu zpracování, takže je v zásadě možné reálně je vytvářet prostředky umělé inteligence/umělého života. Například samo-organizace, která, jak se jí všeobecně rozumí, obsahuje všechny ostatní rysy, lze dosáhnout různými způsoby [...]. Ale metabolismus je odlišný. Může být *modelován* počítači, ale nemůže být počítači *reálně vytvářen, demonstrován*. Ani sebe-sestavující roboty, ani virtuální (obrazkový) umělý život nemůže opravdu metabolizovat. Metabolismus je užití biochemických substancí a energetických výměn pro sestavování a udržování organismu.“ (Boden, 2016) Tak před námi vyvstává potřeba adekvátně postihnout meze a prospěšnost počítačového modelování. Ze snahy dostatečně definovat život a využít k tomu počítač vyplývá tradiční antagonismus dvou jeho stránek – ideově-informační a materiálně-energetické.

V náhledu Ctirada Johna je „vhodným studijním modelem života v nejjednodušším a úplném provedení“ každá bakterie, protože „je schopná vykonávat všechny životní funkce“ (John, 1994). Bakterie je „systém s cílovým chováním“, přičemž lze rozlišit krátkodobý cíl – zachování existence buňky, a dlouhodobý – zachování kontinuity života, tedy bakterie neboli buňka, musí být zároveň systémem se sebeudržováním a systémem s autoreprodukcí.

Johnova redukce přináší návod na přijatelnou metodiku modelování života obsahující dvě jeho základní stránky. *Systém se sebeudržováním* kontroluje výměnu látek a energií mezi systémem a okolím (prostředím), je otevřený, nicméně vede k ustálenému stavu. K udržení ustáleného stavu, k vyrovnávání odchylek slouží nejen patřičné senzory a zavedené strategie reakcí, ale i schopnost adaptace a učení. Učení je motivováno nejen zájmem organismu o zefektivnění vlastního chování, ale především dopadem proměňujících se vlastností prostředí. Základem je tu tedy metabolismus jako materiální stránka zahrnující růst, adaptaci a citlivost. Reakce umožňuje krátkodobá paměť zpracovávající aktuální informace. *Systém s autoreprodukcí* je především založen na stálé vnitřní paměti, která obsahuje informace pro zdvojení organismu. V tom smyslu jde vlastně o systém uzavřený. Genetická paměť, program pro reprodukční automatismus řídí samo-organizaci, informační stránku rozmnožování a vývoj.

Pokud se dva objekty tvořené soubory dílčích prvků vzájemně podobají, je vhodné posoudit míru jejich podobnosti jako podobnost systémů, přičemž lze rozlišit podobnost chování a podobnost struktury. K jednomu z podobných systémů nalezneme systém

náhradní (zástupný), „[nazýváme ho] *modelem* a jeho vyhle-dávání, nejčastěji však utváření, *modelováním*.“ (John, 1994)

Je celkem přijatelné, že genetická informace, sestavovaná ze čtyř nukleotidů (adenin, thymin, guanin a cytozin), může být modelována na základě podobnosti systémů molekulární genetiky a lingvistiky, protože sdílejí podobnou architekturu, podobné principy konstrukce, též hierarchický princip. Také lingvistika pracuje se subjednotkami – grafémy nebo fonémy, které nemají autonomii, nicméně na jejich základě vznikají slova, která už mají funkci autonomnější. Nejvyšší autonomie nastává na úrovni syntaktické.

Kognitivní věda byla při svém zrodu inspirována počítačovou technologií. Díky definování abstraktních objektů, jejich vlastností a možných transformací plynoucích z obecných syntaktických pravidel se prostřednictvím počítačového programu mohou vytvářet struktury, které se počtem svých součástí, množstvím procesů a rychlostí opakování mohou přiblížit přirozeným sebeudržovacím a autoreprodukujícím projevům.

3 Samoorganizace, sebeuspořádání a růst komplexity (John von Neumann)

„Klíčovým rysem biologických organismů je jejich schopnost zkonstruovat sebe samotné. Samo-organizace je spontánní emergence řádu z počátku, který je uspořádán na nižším stupni. Je to matoucí, dokonce kvazi-paradoxní vlastnost. A není samozřejmé, že by se totéž mohlo dít s neživými věcmi. Celkem vzato, samo-organizace je kreativním fenoménem“ (Boden, 2016).

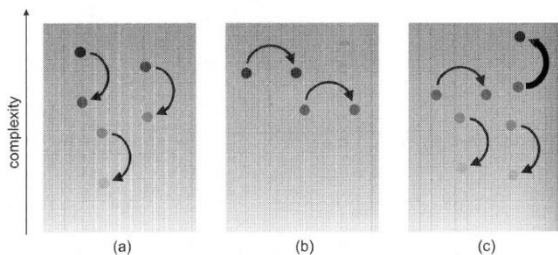
Pokud pro nás kreativita představuje užitečnou novost, je nově vzniklý organismus nebo stroj také účinný a uplatnitelný. Jeho existence se vřadí do stávajících kontextů a přivodí transformaci celku na novou úroveň. Kognitivní teorie umění totéž přisuzují i hodnotným uměleckým dílům.

Pokud přisuzujeme v oboru umělé inteligence prorockou roli Turingovi, měl by být podobně za hlasatele umělého života pokládán von Neumann. Do svých úvah o počítačích záhy zařadil klíčový koncept dosud výhradně spojovaný s životem, a sice představu možnosti jejich sebe reprodukce. K tomuto tématu se mnohokrát vracel, a přestože byly tyto myšlenky za jeho života v tištěné podobě obtížně dostupné, pro svoji inspirativnost byly široce rozšířené, ať už zazněly na přednáškách, zachytily je jejich hojně kopírované záznamy nebo se sdílely ústním podáním.¹ V důsledku vážného onemocnění nechal svůj návrh sebe reprodukování strojů dopracovat Johna Kemenye (1955) a ten

¹ V průběhu 40. let; definitivnější verzi přednesl na Hixonském symposiu 20. září 1948 v Pasadeně (Kalifornie). Tato verze je zařazena do sebraných spisů Johna von Neumanna (1963), 5. díl, A. W. Taub (ed.). Kniha *Theory of Self-reproducing Automata* vyšla 9 let po von Neumannově úmrtí, v roce 1966 editována a dopracována A. W. Burksem.

později dále zjednodušil E. F. Codd (1968) (Kelemen, 2012).

V návaznosti na Turingovy stroje (automaty), které jsou pojímány jako posuvná zápisová páska se symboly, uvažoval von Neumann o strojích (automatech) takové konstrukce, jejichž produktem budou podobně jiné automaty. Principiálně tato myšlenka obsahuje problém stroje jako původce stoupající složitosti. Se stroji, které vytvářejí produkty nižší složitosti, se setkáváme běžně. Z informačního a termodynamického hlediska takový proces odpovídá degenerativním tendencím k entropii. Ještě se nám nezdá nemožné, aby stroj dokázal „kopírovat“ složitost vlastní. Při zahrnutí účinku náhodných mutací ovšem můžeme očekávat, že by některá „kopie“ mohla dosáhnout vyšší komplexnosti než její původce (Obr. 1). Takové úvaze byla samozřejmě blízká biologická praxe evoluce, tedy vznik složitějších organismů z jednodušších živých forem (Florenzo a Mattiussi, 2008). Nalezení podobného postupu pro stroj plodící složitější stroj, než je sám, vyvolalo paralelu jednak součástky a orgánu, resp. buňky, jednak instrukce a genu.



Obr. 1: Abstraktní znázornění úlohy sebereprodukce pro růst komplexity strojů. Stroje jsou znázorněny tečkami, šipky znázorňují výrobu. V případě (a) má vzniklý stroj nižší složitost, (b) je stejně složitý a v případě (c) lze na obrázku nalézt ojedinělý případ, kdy vznikl stroj složitější (Florenzo a Mattiussi, 2008).

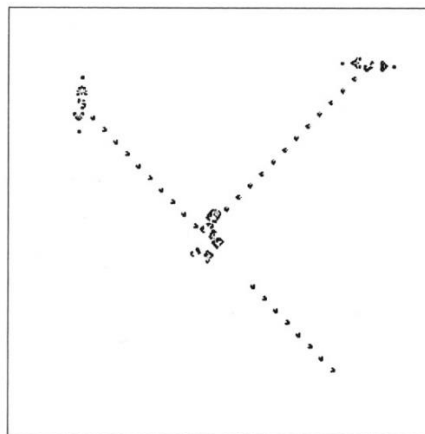
Od prvních představ, které ještě příliš konkrétně počítaly s motory, čidly a elektronickými prvky plovoucími po hladině „součástkové nádrže“, se von Neumann od tohoto kinematického návrhu přenesl na radu matematika Stana Ulama k buněčnému modelu, kde prostředím pro vznik samoreprodukujícího se stroje se stal dvourozměrný „celulární automat“. V návrhu zpracovaném v knize *Theory of Self-reproducing Automata* (1966) popisuje systém o 29 stavech s obecným pravidlem přechodů, uvádí konstrukci některých základních orgánů, konstrukci pásky a jejího řízení, konstrukci paměťové kontroly a univerzálního konstruujícího zařízení (Wünsch, 1968). Nulový stav, představující absenci hmoty v buňce, mohl přejít do několika běžných nebo zvláštních přechodových stavů, které mohou existovat jak v klidových nebo excitovaných podmínkách, případně se transformovat do dalších pomocných stavů. Přechodové funkce byly definované tak, aby umožňovaly vytvoření a zničení „hmoty“ v celulárním prostoru místo jejího přenášení, jak tomu bylo u kinematického modelu. Von Neumann tak definoval

základní představu o smyslu celulárního, buněčného modelu (CA).

4 Modelování života celulárními automaty

4.1 Conwayova redukce CA

Po zmíněném Coddově modelu se objevil ještě více zjednodušující celulární automat modelu života Johna H. Conwaye. Dlužno přiznat, že byl uveden v kontextu sofistikované zábavy. Oč byl princip jeho „Hry života“ elementárnější, o to se stal pro souhru jednoduchých principů a působivou demonstraci výsledného nepřehledného chování přitažlivější. Na ploše je pravidelný pravouhlý rastr buněk, stav buňky může být jen dvojitý, odpovídající „životu-hmotě“ a „smrti-prázdnou“. Logické pozadí transformací se smršťuje na vyhodnocování přítomnosti množství „hmoty“ v okolí buňky. Princip smíšení pouhého pohybu buňky a jejího vzniku či zániku působí sice vizuálně efektně, ale neumožňuje sledovat, případně rozvíjet genetické strukturování a jen velmi omezeně energetické, hmotné okolnosti. Model je to tak živý, jako těsto v mechanickém hnětači.

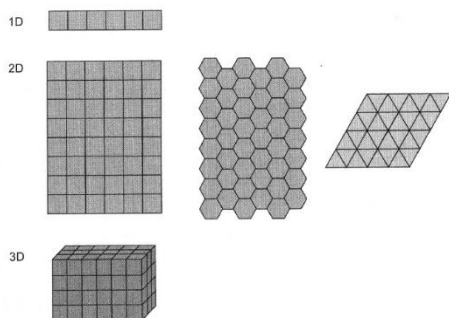


Obr. 2: Kluzákové dělo. Jedna ze situací „Hry života“, kdy souhra periodického vznikání evokuje iluzi biologického zrodu organismu a jeho pohybu (Coveney a Highfield, 2003).

4.2 Obecný tvar buňky CA

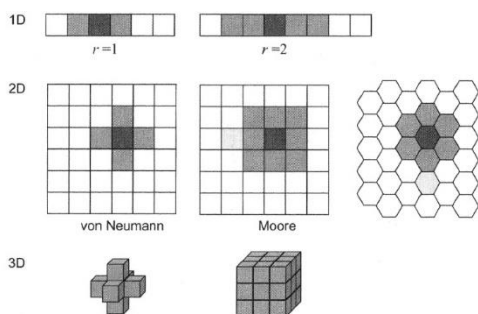
Pro další promyšlení vizuálních možností buněčného automatu a zároveň možnosti jak organizovat logické předpoklady jeho chování není samozřejmě bez významu ani samotný tvar buněk, ani jejich rozměrová expanze. Pravouhlá mřížka je sice pohodlněji zvládnutelná karteziánským adresováním, ale rastr rovnoramenných trojúhelníků nebo pravidelných šestiúhelníků také beze zbytku pokrývá plochu, ale navíc i umožňuje snadněji zahrnout do úvah souvislost

konkrétních vzdáleností středů buněk a vrstev jejich sousedství.



Obr. 3: Vyhodnocování vztahů jednotlivých buněk může být redukováno na jeden rozměr, nebo rozšířeno na tři rozměry, přičemž samo definování tvaru buňky ovlivní významně možnost logických dispozic transformací (Floreno a Mattiussi, 2008).

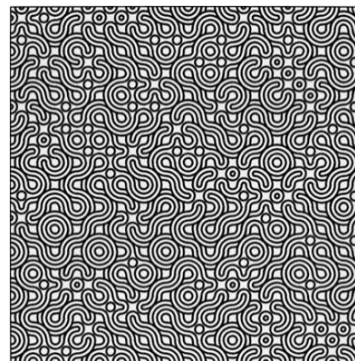
Prostorové modelování buněčného automatu je blíže naší přirozené zkušenosti, ale vzhledem k praxi vidění vzniká problém s nedostupností většiny informace, případně praktickým provedením trojrozměrné simulace. Plošná abstrakce naopak může těžit ze zkušenosti značné části výtvarného umění.



Obr. 4: Působení sousedství na konkrétní buňku může vyplývat z charakteru dělení prostředí, může však zahrnovat i parametr vzdálenosti, který lze interpretovat buď jako prostorovou nebo prostorově-časovou okolnost (Floreno a Mattiussi, 2008).

4.3 Plošný CA model v umění (Paul Brown)

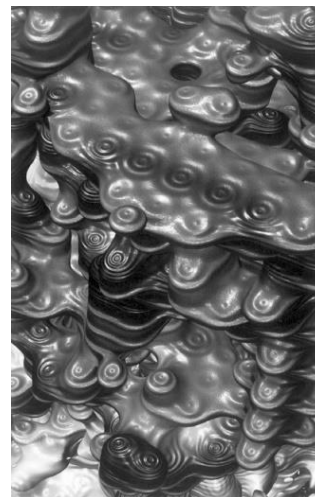
Dlouhodobě se využitím CA modelování života inspiroval Paul Brown, britský umělec nekonstruktivního zaměření. Od rigidního čtvercového rastru dospěl k evokaci fluidní, přelévavé podstaty života, protože původní čtvercový rastr rafinovaným způsobem překryl způsoby vizuálního sdružování sousedních tvarů. Také rozmnožení typů základních prvků může být užitečné pro postihování složitějších etap vývoje než zánik a zrod.



Obr. 5: Paul Brown: Bez názvu, 1975. Počítačem podporovaná kresba.

4.4 Prostorový CA model v umění (Yoichiro Kawaguchi)

Na počátku 80. let se s přispěním programátora Eiichi Izuhary podařilo Yoichiro Kawaguchimu uspět s vytvořením růstového buněčného algoritmu na prostorovém základě². Cesta k programu GROWTH vedla od lineárně kreslicího počítačového systému z roku 1977 přes vyvíjení síťových kreseb ulit a rostlin, později s užitím fraktálového opakování. Nové stadium simulace života si vzalo za základ třírozměrný buněčný prostor, přičemž jeho variace lze chápat buď jako časové vrstvy, nebo jako sousedství buněk. Kawaguchi zahrnul do programu oba způsoby, přičemž je opět základním pravidlem hustota sousedství živých buněk v okolí, která ovšem mohla průběžně kolísat (Kawaguchi, 1997 a Kawaguchi, 1982).



Obr. 6: Yoichiro Kawaguchi: Buňka metropole umělého života, 1993.

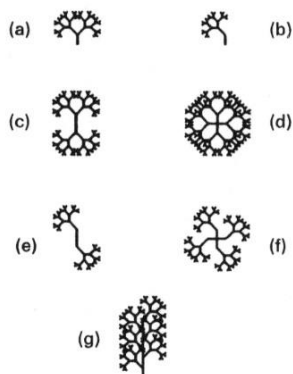
² Svoji simulaci života Kawaguchi úspěšně prezentoval na umělecké konferenci a výstavě SGGGRAPH '93.

5 Genové modelování

5.1 Dawkinsovy biomorfy

Dawkinsovo modelování evolučního procesu z roku 1986 abstrahovalo jak od energetického, metabolického pozadí životních procesů, tak od ontogenetického cyklu každého organismu. Základním principem je segmentovaná struktura celé řady běžných živočichů. Dawkinsovy zástupné organismy, biomorfy, tvoří spojení úseček sestavovaných stromovým větvením při rekurzivním naprogramování (Dawkins, 2002). Počet propojených součástí neboli řetěz opakování odpovídá počtu rekurzí, které musí být dopředu stanoveny. To určuje první z devíti genů užitých pro toto modelování. Každý gen má vždy nějakou konkrétní hodnotu ve stanoveném rozsahu. Další pozice genové informace ovlivňují úhel přírůstku, jeho velikost, vzdálenost takto vzniklých segmentů, průběžný tvarový nárůst segmentů atd.

Dawkinsovy biomorfy velmi názorně modelují vztah informace zakódované do souboru hodnot, který se programem snadno převede na viditelný výsledek morfogeneze.



Obr. 7: Uplatnění genů různých druhů symetrie na segmentový organismus v Dawkinsově evolučním programu. (Dawkins, 2002).

5.2 „A-Volve“ (Christa Sommerer a Laurent Mignonneau)

Evoluční prostředí umělého života nazvané „A-Volve“ vytvořila na základě inspirace Dawkinsovými biomorfami umělecká dvojice Christa Sommererová a Laurent Mignonneau v letech 1994-1995. Jedná se o interaktivní počítačovou instalaci pracující v reálném čase. Jejím základem je dotyková obrazovka, která ve vodorovné poloze zobrazuje virtuální organismy. Tito virtuální tvorové vznikají na základě genetického kódu, který se přenáší mezi generacemi tvorů a který určuje jejich tvar a velikost. Každý tvor může zaujímat dvojí chování. Buď se stává aktivním lovcem, nebo naopak unikající kořistí. Tato vlastnost je umožněna zahrnutím informace o energetických výdajích a potřebách vir-

tuálních živočichů (Sommerer a Mignonneau, 1997). Vytvořený program modeluje schopnost tvora získávat informace v určitém výseku okolí, v jeho „zorném poli“, dále modeluje možnost získat potravu z jiného živočicha, ukazuje individuální růst organismu a také jeho „sexuální“ chování, které produkuje nové jedince nesoucí průnik genetických informací rodičů.

6 Parametry návrhu organismu uměleckého díla

Uvažovaná paralela uměleckého díla a organismu (resp. ekosystému) se samozřejmě nemůže opírat o umění duchampovskými subversivní nebo o umění konceptuálně odvozené od ideologických, psychologických a psychologických kalkulací, ale musí se vrátit k tradici umění modernistického. Dlouhodobý vývoj prověřující možnosti strukturace obrazového prostoru v kompozici nebo konkretistické struktury vyvrcholil právě ve výtvarném umění první poloviny 20. století. Nahlížel tradiční stavební prvky vizuálního umění jako praxi spojování jednodušších prvků do stále propojenějších, hierarchizovanějších a složitějších celků. Cílem je poskytovat dostatečné vizuální klíče přehlednosti a zároveň dodávat širokou škálu možných vizuálních zážitků.

Ve smyslu Johnova návrhu (viz kap. 2) lze uvažovat o paralele následujících vlastností života v rámci ekosystému a tvorby výtvarného díla v modernistickém smyslu.

Organismus a ekosystém

- Individuální růst, podporovaný metabolismem a reagování na prostředí (ontogeneze)
- Vývoj organismů (fylogeneze) a jejich sociální interakce; růst complexity
- Fitness jako zajištěné dynamické trvání, setrvalý rovnovážný stav

Umělecké dílo

- Propracovávání vstupních elementů, jejich sestavování, sdružování
- Zahrnutí vzájemného opakovaného působení do strukturovaného celku; růst complexity
- Fitness jako dynamický, ale setrvalý a rovnovážný strukturovaný celek (jednotlivé dílo, cyklus, osobní autorský styl a umělecký směr)

Modelování organismu v ekosystému, resp. uměleckého díla bude muset vycházet z energetické bilance celku, která by měla mít stále stejnou hodnotu. Jednotlivá stadia dílčích organismů by měla vznikat opakovaně a proměňovat se vlivem vzájemného působení. Kromě procesů ontogeneze by vzniklé součásti měly vytvářet vnitřní paměť svého rozvoje, která by podporovala opětovný výskyt jednotlivých řešení, jejich sebeprodukci. Kromě toho musí být tato vnitřní informace o postupu vlastní výstavby, o způsobu strukturování, do určité míry variabilní. Přípustnost nepřesné sebeprodukce uvolní varianty, které průběž-

ně omezí interakce s prostředím, tedy s postupně tvořeným celkem. Reaktivnost organismu na prostředí musí zahrnovat informace o větším než bezprostředním sousedství, přičemž ideálně bude směřovat k rozpoznání nejen aktuálního stavu buněčných celků, ale i jejich intence.

Jinak shrnuto, při řešení počítačové simulace života by mělo být komplementárně doplňované zvětšování počtu diferencujících se prvků možností jejich slučování do jednotek vyšší vrstvy, při stoupajícím způsobu jejich interakce. Vizuální složitost lze běžně postihnout v kategoriích obecných typových tříd, „znakových komplexů“ neboli „superznaků“, které mají sice arbitrární důvod ustavení, ale zároveň vůči sobě statisticky měřitelný rozdíl rozpoznatelných vlastností obsahu. Růst složitosti organismu by měl modelovat i kapacitu vhodnou pro symbolickou manipulaci, zakládající uměleckou účinnost. Zjednodušeně řečeno, kvantitativní násobení prvků struktury musí provázet rozvíjení vnitřní hierarchie, tedy kvalitativní růst. A právě v těchto kategoriích se tradičně uvažuje i o struktuře uměleckého díla.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl za podpory programu PROGRES Univerzity Karlovy v rámci dílčího programu Q21 Text a obraz ve fenomenologii a sémiotice pod číslem projektu FHS/Q21_206021/28.

Literatura

- Bertalanffy, L. von (1972). *Člověk-robot a myšlení, Psychologie v moderním světě*. Svoboda.
- Boden, M. A. (2016). *AI, Its nature and future*. Oxford University Press.
- Coveney, P. a Highfield, R. (2003). *Mezi chaosem a řádem, Hranice komplexity: hledání řádu v chaotickém světě*. Mladá fronta.
- Dawkins, R. (2002). *Slepý hodinář, Zázrak života očima evoluční biologie*. Paseka.
- Floreno, D. a Mattiussi, C. (2008). *Bio-Inspired Artificial Intelligence, Theories, Methods, and Technologies*. Massachusetts Institute of Technology.
- John, C. (1994). Modely v biomedicinském myšlení. Ve sborníku *Model a analogie ve vědě, umění a filozofii*. Filosofía, str. 125-138
- Kamarýt, J. (1994). Analogie a homologie jako nástroj poznání a omylu. Ve sborníku *Model a analogie ve vědě, umění a filozofii*. Filosofía, str. 139-158
- Kawaguchi, Y. (1982). A Morphological Study of the Form of Nature. *Computer Graphics* 3(16): 223-232
- Kawaguchi, Y. (1997). The Art of the GROWTH Algorithm with Cells. Ve sborníku *Artificial Life V*, str. 159-166
- Kelemen, J. (2012). *Kyberkreativita, Stroj, tvořivost, člověk*. Slezská univerzita v Opavě.
- Sommerer, Ch. a Mignonneau, L. (1997). „A-Volve“ an evolutionary artificial life environment. Ve sborníku *Artificial Life V*, str. 167-175
- Wünsch, Z. (1968). John von Neumann, Theory of Self-reproducing Automata. *Kybernetika* 5(4): 495-496.