Umělý život

Mgr. Roman Neruda - roman@uivt.cas.cz

Člověk se snad odnepaměti snažil napodobovat živou přírodu. Jeho odvěkým snem, prezentovaným v mnoha knihách i filmech, bylo vytvořit umělou bytost nebo alespoň umělý život. I když na tomto poli došlo v posledním století ke značnému rozvoji, zatím mohou s lidským umělým životem, odehrávajícím se většinou pouze na obrazovkách monitorů, směle soupeřit jen ty nejjednodušší baktérie.

Jak funguje život v přírodě? Podle všeho docela jednoduše: každý jedinec je trochu jiný. Pokud mu jeho odlišnost umožní lépe přežít, zanechá po sobě více potomků než jedinci takto nevybavení. Populace odlišných jedinců se však úspěšně množí, až jsou odlišnosti mezi nimi a původním druhem natolik velké, že je člověk zařadí do jiného druhu, nebo původní druh zcela zanikne, protože nebude mít následovatele. Na tuto poměrně jednoduchou myšlenku přišel pan Darwin v polovině 19. století. Nazval ji **teorií přirozeného výběru** (natural selection) a popsal ji ve své knize „On the Origin Of Species".

Pro simulaci živé přírody člověk zvolil dva postupy – jednak tzv. **genetické algoritmy**, kterými se spíše snaží napodobit fungování evoluce a které jsou založeny na teorii přirozeného výběru, a dále pak **umělé neuronové sítě**, tvořené z neuronů a propojení mezi nimi, kterými se simuluje chování nervové soustavy člověka.

What is Life?

Webster dictionary:

a) **the quality that distinguishes a vital and functional being from a dead body or purely chemical matter**
b) **the state of a material complex or individual characterized by the capacity to perform certain functional activities including metabolism , growth , and reproduction**

Samuel Butler:

Life is one long process of getting tired.

Jacques Prevert:

Life too is an epidemic, sons catching it from fathers, daughters from mothers.

Shakespeare (Macbeth V.v.):

Life's but a walking shadow, a poor player
That struts and frets his hour upon the stage
And then is heard no more: it is a tale
Told by an idiot, full of sound and fury
Signifying nothing.

John Keats (Sleep and Poetry):

Stop and consider! Life is but a day;
A fragile dew-drop on its perilous way
From a tree's summit;

What is Artificial Life?

"The study of man–made systems that exhibit behaviors characteristic of natural living systems."

C. G. Langton. "Artificial Life." In C. G. Langton, editor. *Artificial Life*, Volume VI of *SFI Studies in the Sciences of Complexity*, pages 1-47, Addison-Wesley, Redwood City, CA, 1989.

"Artificial Life is a field of study devoted to understanding life by attempting to abstract the fundamental dynamical principles underlying biological phenomena, and recreating these dynamics in other physical media - such as computers - making them accessible to new kinds of experimental manipulation and testing. ...
In addition to providing new ways to study the biological phenomena associated with life here on Earth, *life-as-we-know-it*, Artificial Life allows us to extend our studies to the larger domain of "bio-logic" of possible life, *life-as-it-could-be* ..."

C. G. Langton. "Preface." In C. G. Langton, C. Taylor, J. D. Farmer, and S. Rasmussen, editors, *Artificial Life II*, Volume X of *SFI Studies in the Sciences of Complexity*, pages xiii-xviii, Addison-Wesley, Redwood City, CA, 1992.

"Among all of the things that artificial life is or will come to be, however, it is probably safe to say that the field as a whole represents an attempt to vastly increase the role of synthesis in the study of biological phenomena."

C. G. Langton. "Editor's introduction." *Artificial Life Journal*, Volume 1, Number 1/2, pages v-viii, 1994. The MIT Press, Cambridge, MA.

"Artificial Life (AL) is the enterprise of understanding biology by constructing biological phenomena out of artificial components, rather than breaking natural life forms down into their component parts. It is the synthetic rather than the reductionist approach."

T. S. Ray. "An evolutionary approach to synthetic biology: Zen and the art of creating life." *Artificial Life Journal*, Volume 1, Number 1/2, pages 179-209, 1994. The MIT Press, Cambridge, MA.

"... Artificial Life models ... are powerful enough to capture much of the complexity of living systems, yet in a form that is more easily manipulable, repeatable, and subject to precisely controlled experiment than are the corresponding natural systems."

C. Taylor and D. Jefferson. "Artificial life as a tool for biological inquiry." *Artificial Life Journal*, Volume 1, Number 1/2, pages 1-13, 1994. The MIT Press, Cambridge, MA.

"Alife is a constructive endeavor: Some researchers aim at evolving patterns in a computer; some seek to elicit social behaviors in real-world robots; others wish to study life-related phenomena in a more controllable setting, while still others are interested in the synthesis of novel lifelike systems in chemical, electronic, mechanical, and other artificial media. Alife is an experimental discipline, fundamentally consisting of the observation of run-time behaviors, those complex interactions generated when populations of man-made, artificial creatures are immersed in real or simulated environments. Published work in the field usually relates the conception of a model, its instantiation into real-world or simulated objects, and the observed behavior of these objects in a collection of experiments."

E. M. A. Ronald, M. Sipper, and M. S. Capcarrère. "Design, Observation, Surprise! A Test of Emergence." *Artificial Life Journal*, Volume 5, Number 3, pages 225-239, Summer 1999. The MIT Press, Cambridge, MA.

Artificial Life

(a basic definition)

Artificial Life ("AL" or "Alife") is the name given to a new discipline that studies "natural" life by attempting to recreate biological phenomena from scratch within computers and other "artificial" media. Alife complements the traditional analytic approach of traditional biology with a synthetic approach in which, rather than studying biological phenomena by taking apart living organisms to see how they work, one attempts to put together systems that behave like living organisms.

Evoluční strategie, evoluční algoritmy

Vrchol modelování **evolučních procesů** pro účely, které nemají nic společného s biologií.

Charakteristické rysy:

1. Pracují s celou množinou možných řešení zadané úlohy (ne s jednotlivými řešeními).
2. Řešení se postupně „vylepšují" zařazováním nových řešení, získaných kombinací původních (řešení).
3. Kombinace jsou následovány náhodnými změnami a vyřazováním nevýhodných řešení.

Smysl orientace na využití evolučních strategií a algoritmů:

> Existují úlohy, které příroda zvládá velmi snadno, zatímco člověkem navržené algoritmy se hroutí.

Dva druhy evolučních algoritmů:

- algoritmy napodobující přirozené (přírodní) evoluční procesy založené na teorii přirozeného výběru a „zvládající" problémy adaptace na měnící se podmínky a učení – **genetické algoritmy**
- algoritmy napodobujícími činnost mozku – **umělé neuronové sítě** tvořené z neuronů a propojení mezi nimi, kterými se simuluje chování nervové soustavy

Genetické algoritmy

Základní myšlenka:

Informace se v živých organismech uchovává v genech – objevitelem této skutečnosti byl Johann Gregor **Mendel** (viz http:// www.mendelu.cz/univerzita/mendel.html) v druhé polovině 19. století.

1. **Reprodukce** – každý jedinec je trochu jiný; pokud mu jeho odlišnost umožní lépe přežít, zanechá po sobě více potomků než jedinci takto nevybavení – „kvalitnější" jedinci se více a častěji reprodukují.

2. **Křížení** – geny se při vytváření nové populace mohou křížit (anglicky crossover) – část informace se vezme z otce, část z matky – například z modrého a červeného hrachu vznikne hrách modročervený.

3. **Mutace** – geny mohou vlivem okolí (např. radioaktivního záření) mutovat (mutation) – zpravidla dochází k malé náhodné změně. Tím se vytvářejí nové populace, které příroda buďto přijme nebo odsoudí k zániku.

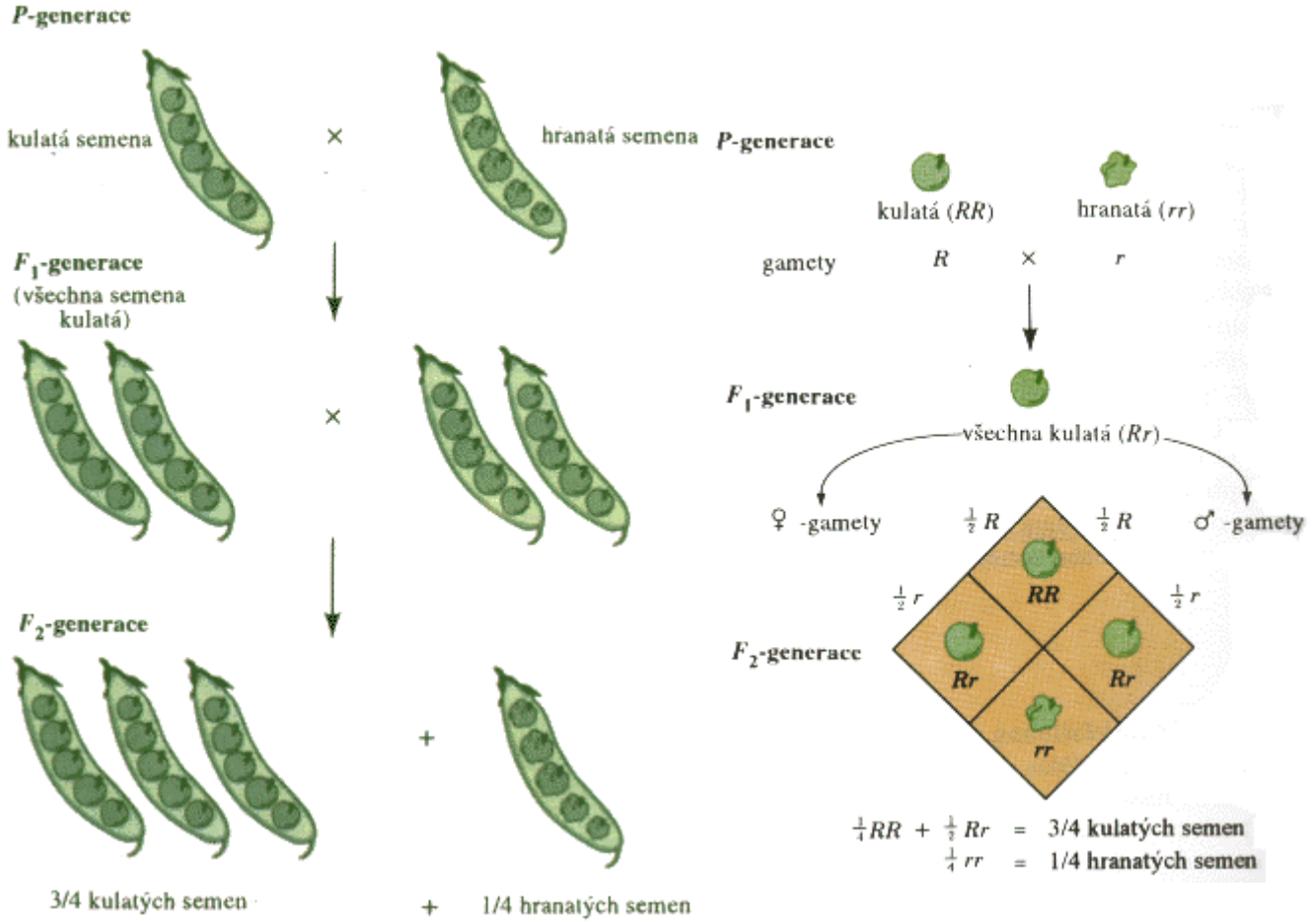
Genetické algoritmy (GA), založené na principu přirozeného výběru (prvně publikovány v roce 1975), jsou dnes základem **evolučního programování** (EP), **evolučních strategií** (ES) a **genetického programování** (GP = EP + ES + GA).

Mendelovy zákony dědičnosti

1. Při vzájemném křížení homozygotů (F_1 generace) vzniká potomstvo, které je svým genotypem i fenotypem jednotné – zákon o jednotnosti první generace kříženců.

2. Při vzájemném křížení heterozygotů (F_2 generace) vzniká potomstvo, které je genotypově i fenotypově různorodé, přičemž poměrné zastoupení homozygotů i heterozygotů v tomto potomstvu (proto i dominantních a recesivních fenotypů) je pravidelné a stálé – zákon o segregaci alely a jejich kombinaci ve druhé generaci kříženců.

3. Při vzájemném křížení heterozygotů (F_3 generace) ve více genových párech vzniká genotypově i fenotypově různorodé potomstvo, v němž je pravidelné a stálé zastoupení (poměrné zastoupení) genotypů všech možných kombinací mezi rozdílnými alelami všech heterozygotních alelových párů (9 : 3 : 3 : 1) – zákon o volné (nezávislé) kombinovanosti alel různých alelových párů.



Mendel zjistil, že křížením rodičů (P) lišících se v jediném znaku (např. tvar semen) vzniká potomstvo (F_1, první filiální generace), ve kterém mají všichni jedinci znak pouze jednoho z rodičů, v tomto případě kulatá semena. Znak, projevující se u F_1 generace, se jmenuje **dominantní**, alternativní znaky se nazývají **recesivní**. V generaci F_2 (potomci F_1 rodičů) se dominantní znak objevuje u tří čtvrtin potomstva, recesivní pak u jedné čtvrtiny. Hrách s recesivním znakem poskytuje přímé potomstvo, tzn. že výsledkem křížení mezi recesivními F_2 je potomstvo F_3 mající rovněž recesivní znak. Příslušníci F_2 generace vykazující dominantní znak se však dělí do dvou kategorií: jednu třetinu vytváří jednotné potomstvo, zatímco zbylá část poskytuje potomstvo s poměrem dominantních znaků k recesivním 3:1 (jako u generace F_2).

Mendel vysvětloval toto pozorování hypotézou, že různé páry kontrastních znaků jsou každý výsledkem faktoru (nyní nazývaného **gen**), který má alternativní formy (**alely**). Každá rostlina obsahuje pár genů určujících určitý znak, přičemž od každého z rodičů získala po jednom genu. Alely pro tvar semene mají symbol R pro kulatá semena a r pro semena hranatá. Tak vznikají dvě možnosti genotypů (složení genů):

a) rostliny čisté linie s kulatými nebo hranatými semeny mají genotyp RR a rr, jsou označovány jako **homozygoti** ve tvaru semen.
b) rostliny s genotypem Rr jsou **heterozygoti** ve tvaru semen a jejich **fenotypem** (projev znaku) jsou kulatá semena, protože R je dominantní. Tyto dvě alely se žádným způsobem v rostlinách nemísí a prostřednictvím gamet se přenášejí na potomstvo.

Genetické algoritmy

Kybernetické pojetí: Řešení úlohy popíšeme řetězcem vstupních parametrů nějaké funkce, parametry funkce se mění obvykle náhodně, kvalita řešení je určena výstupní hodnotou optimalizované funkce (fitness).

1. **Reprodukce** – kvalitní jedinci se častěji reprodukují, při reprodukci předávají potomkům část své genetické informace, déle přežívají, takže mají možnost déle se reprodukovat.

2. **Křížení** – zabraňuje vývoji nelišících se jedinců, vznikají jedinci s „prohozenými" vlastnostmi (část informace se „dědí" po otci, část po matce, a to většinou náhodně).

3. **Mutace** – druhý způsob zabránění vývoji nelišících se jedinců, umožňují adaptaci na měnící se prostředí, probíhají jen u malého procenta vždy náhodně vybraných vstupních parametrů.

Nositelem genetické informace u biologických systémů jsou **chromozómy**, které reprezentujeme jako řetězce číselných hodnot, nejčastěji binárních.