

Modelování evolučních procesů

Radek Pelánek

- **základní myšlenka** evoluce je (alespoň zdánlivě) **jednoduchá**
- **důsledky** jsou však často **komplikované a neintuitivní**
- tato přednáška pouze:
 - výběr zajímavostí, principů
 - témata se vztahem k výpočetním modelům

Evoluce: citáty

Slepice je jenom způsob, jakým vajíčko vyrábí další vajíčko.
(Samuel Butler)

Přírodní výběr je mechanismus pro generování mimořádně velkého stupně nepravděpodobnosti. (Sir Ronald Fisher)

Nothing in biology makes sense except in the light of evolution. (Theodosius Dobzhansky)

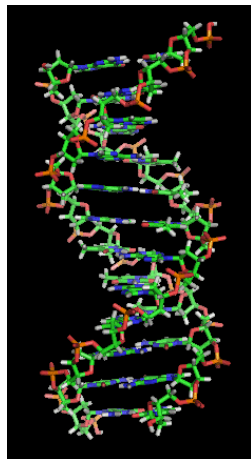
Příklad mûry

- evoluce je vesmĚs pomalá (rychlost \sim generacím), nejde moc pozorovat
- známá výjimka: mûry v okolí Manchesteru
- průběh:
 - světlá kůra stromů \rightarrow světlé mûry
 - znečištění \rightarrow tmavá kůra \rightarrow tmavé mûry
 - redukce znečištění \rightarrow zpĚt světlá kůra \rightarrow světlé mûry
- NetLogo: Biology / Evolution / Peppered Moth, Bug Hunt Camouflage



Genetická informace

- genetická informace uložena v DNA
- DNA = řetězec „základních bloků“: adenine (A), cytosine (C), guanine (G), thymine (T)
- při reprodukci dochází ke kombinaci (křížení) DNA rodičů
- náhodné mutace



Základy evoluce: poznámky

- **vyvíjí se populace** jako celek (nikoliv jednotlivci)
- **diverzita** je důležitá
- schopnosti získané během života se nepřenáší (až na detaily)
srovnej: Lamarck, „kulturní evoluce“ (memy), simulovaná evoluce
- přirozený výběr \sim usměrňování vývoje

- přežití nejsilnějších (survival of the fittest) nebo spíš přežití schopných reprodukce (survival of the reproducers)

- přežití nejsilnějších (survival of the fittest) nebo spíš přežití schopných reprodukce (survival of the reproducers)
- triviální, ale zajímavé pozorování:
Všichni naši předci žili tak dlouho, že se stihli reprodukovat.
- pozitivní zpětná vazba

- organismy se adaptují na měnící se okolí
- organismy současně i ovlivňují okolí
- „Red Queen effect“ (Alenka v říši divů):
Now, here, you see, it takes all the running you can do, to keep in the same place. If you want to get somewhere else, you must run at least twice as fast as that!

Koevoluce: biologické závody ve zbrojení

- **netopýři** mají **sonar**, kterým hledají můry (sonar je sám o sobě zapeklitě komplikovaný)
- **můry** vyvinuly **měkké pokrytí** těla, které absorbuje netopýří vysílání
- **netopýři** přešli na nové **frekvence**
- **můry** přišly s novým pokrytím a s „**rušičkou**“ (vlastní signál který interferuje s netopýřím)
- **netopýři** přišli s novými leteckými **manévry** a naučili se **vypínat** sonar (čímž dělají rušení méně efektivním)

Koevoluce: biologický citát

Na počátku byla jemná křehká bylinka, kterou občas někdo sežral; na konci je trnitá a jedovatá obluda, kterou také občas někdo sežere. (J. Zrzavý, D. Storch, S. Mihulka)

- viry a antivirová ochrana
- spamy a antispamová ochrana

Typy evolučních modelů

- přežití nejsilnějších (bez vývoje) – „ekologické modely“ (např. Dilema vězně a třetí Axelrodův turnaj)
- přežití nejsilnějších + vývoj (křížení, mutace)
 - genetické algoritmy
 - evoluční programování
 - genetické programování
 - ...

Interpretace evolučních principů

Lze interpretovat různě:

- „nejsilnější“ mají největší šanci reprodukce
- učení se metodou pokus-omyl (a pamatování si úspěšných)
- nápodoba úspěšných

není potřeba „racionalita“ agentů, uvědomění si, co přesně dělají (srovnej dedukce, příklad piráti)

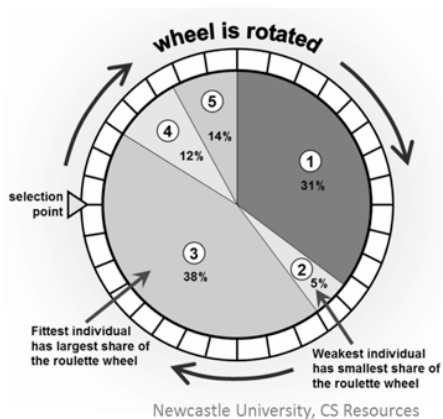
Genetické algoritmy: základní přístup

- Vyber počáteční populaci P
- Opakuj dle potřeby:
 - Vytvoř novou prázdnou populaci P'
 - Opakuj dokud P' není plná:
 - Vyber dva jedince z populace P v závislosti na kritériu **zdatnosti**
 - Volitelně: **křížení** a nahrazení potomky
 - Volitelně: **mutace**
 - Přidej do populace P'
 - $P := P'$

- jedinci \sim řetězce (většinou binární)
- případně vyžadovány speciální vlastnosti řetězců (např. permutace čísel)

- **výběr** založen na **zdatnosti** (fitness):
 - **absolutní** zdatnost (např. optimalizační problémy)
 - **relativní** zdatnost – necháme jedince spolu „soutěžit“
- **deterministický** výběr nejlepších:
 - ztráta diverzity
 - uváznutí na lokálním minimu
- používá se proto **náhodnostní** výběr s přihlédnutím k zdatnosti (ruleta)

Výběr – ruleta



<https://github.com/carlosnasillo/Hybrid-Genetic-Algorithm>

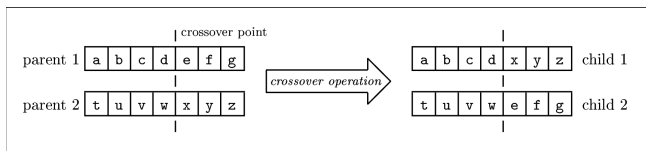


Figure 20.1 The crossover operation in action

- variace: vícebodové křížení, zachování základních bloků
- někdy speciální formy křížení, abychom zachovali požadovanou vlastnost řetězců

- **náhodná změna** v řetězci, opět mohou být potřeba speciální úpravy
- většinou nevede ke zlepšení
- může pomoci **překonat lokální optima**
- používáno, ale s malou pravděpodobností

Praxe: volba parametrů

- základní princip genetického algoritmu jednoduchý
- avšak mnoho (skrytých) parametrů a voleb
 - volba reprezentace, funkce zdatnosti, přesný mechanismus křížení, mutace, výběru podle zdatnosti, velikost populace, počet generací, pravděpodobnost mutace, ...
- není jednoduché to „rozchodit“
- existují heuristiky pro volbu parametrů, např. pro velikost populace:
 - velikost populace \times počet generací $>$ 100 000
 - velikost populace \gg počet genů

Ilustrační příklad: Hledání řetězce

Time	Average Fitness	Best Fitness	Best String
0	0.035314	0.200000	"pjrmrubynrksxiidwctxfodkodjjzfunpk "
1	0.070000	0.257143	"pjrmrubynrksxiidnybvsqcqo piisyexdt"
⋮	⋮	⋮	⋮
25	0.708686	0.771429	"qurmous gresn idnasvsweqt prifuseky"
26	0.724286	0.800000	"qurmous green idnasvsweqt prifuseky"
⋮	⋮	⋮	⋮
36	0.806514	0.914286	"uurious green idnas sweqt profusely"
37	0.820857	0.914286	"qurmous green ideas sweqt profusely"
⋮	⋮	⋮	⋮
41	0.895943	0.942857	"uurious green idnas sweat profusely"
42	0.908457	0.971429	"qurious green ideas sweat profusely"
⋮	⋮	⋮	⋮
45	0.927714	0.971429	"qurious green ideas sweat profusely"
46	0.936800	1.000000	"furious green ideas sweat profusely"

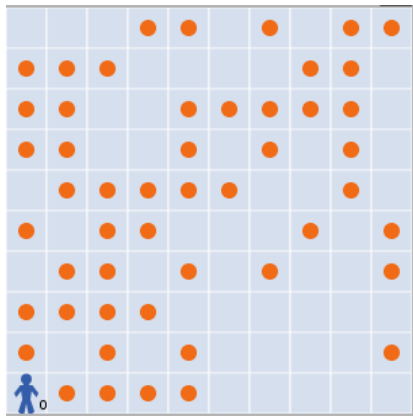
Table 20.2 Evolving the text string "furious green ideas sweat profusely" from an initially random pool of strings: Fitness scores shown are for the raw fitness.

- NetLogo
 - Computer Science / Simple Genetic Algorithm
 - Biology / Evolution / Sunflower biomorphs
- demo příklady na webu: „Genetic algorithm“
- typická ilustrace: problém obchodního cestujícího (TSP, traveling salesman problem)

Robot sbírá jídlo

- NetLogo: Computer Science / Robby the Robot
- mřížka, zdi, jídlo
- vstup: robot vidí bezprostřední okolí
- výstup: přesun na vedlejší pole
- úkol: posbírat co nejvíce jídla
- genetický algoritmus zvládne vymyslet neintuitivní „finty“

Robby the Robot



Robby the Robot

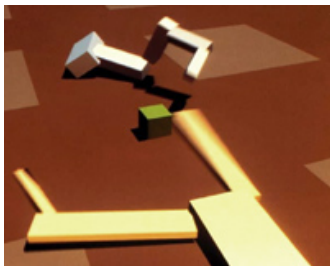
```
generation 54:  
  best fitness = 29.5  
  best strategy: [+ ● + † + - x ● + † x x † - † - † + x ● + + † x + † ● + † - † -  
generation 55:  
  best fitness = 31  
  best strategy: [+ ● + † + - x ● - † x x † - † - † + x ● + + † x + † ● + + - † -  
generation 56:  
  best fitness = 30.5  
  best strategy: [+ ● + † + - x ● + † x x † - † - † + x ● + + † x + † ● + † - † -  
generation 57:  
  best fitness = 32  
  best strategy: [+ ● + † + + x ● + † x x † ● † - † + x ● + + † † † + † ● + † - † -  
generation 58:  
  best fitness = 30.5  
  best strategy: [+ ● + † + - x ● + † x ● † - † - † + x ● ● + † x + † ● + + + † -  
generation 59:  
  best fitness = 33  
  best strategy: [+ ● + † + - x ● + † x ● † - † - † + x ● ● + † x + † ● - + + † -  
generation 60:  
  best fitness = 34.5  
  best strategy: [+ ● + † + + x ● + † x x † ● † - † + x ● + + † x + † ● + † x † -  
generation 61:  
  best fitness = 35.25  
  best strategy: [+ ● + † + - x ● + † x ● † - † - † + x ● ● + † x + † ● + + + † -
```

Evolve pohybu

Karl Sims: Evolved Virtual Creatures

www.karlsims.com/evolved-virtual-creatures.html

www.youtube.com/watch?v=JBgG_VSP7f8



Evoluční Dilema vězně: Axelrodova studie

- otázka: jak moc byly výsledky turnajů ovlivněny tím, že lidé očekávali určité složení odeslaných strategií?
- strategie uvažující poslední 3 tahy, začíná z náhodných
- strategie, které se vyvinou připomínají charakteristiky TFT – tj. dominance principů, na kterých je TFT založena není způsobena lidskými očekáváním, kulturními hodnotami, ...

Dilema vězně

- strategie zohledňující posledních k kol – snadná reprezentace řetězcem
- např. pro $k = 1$ řetězec 5 znaků:
 - 1 tah v prvním kole
 - 2 co dělat když minule: oba spolupracovali
 - 3 co dělat když minule: já spolupracoval on zradil
 - 4 co dělat když minule: já zradil on spolupracoval
 - 5 co dělat když minule: oba zradili
- např. TFT je “SSZSZ”
- zdatnost = průměrný bodový zisk

Dilema vězně

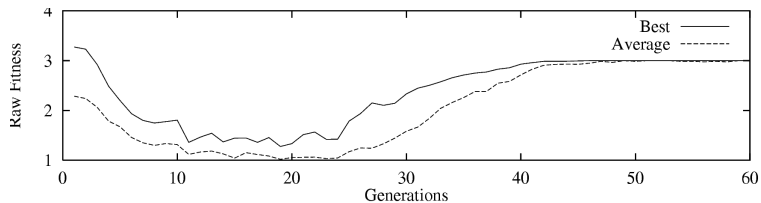


Figure 20.4 Average and best raw fitness scores for the IPD-playing GA

G. Flake, *The Computational Beauty of Nature*

Další aplikace genetických algoritmů

- optimalizační problémy: rozvrhy, protein folding
- učení a plánování: robotika, hry
- návrh: hardware, materiály

Optimalizační problém

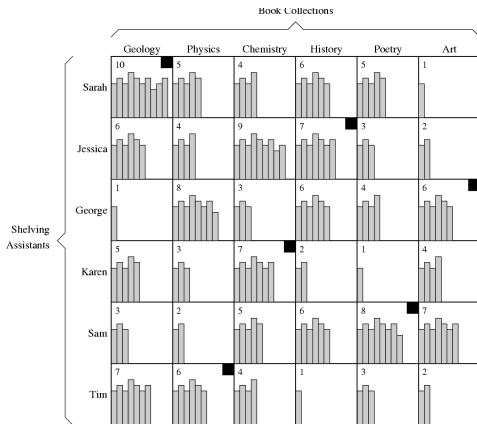


Figure 18.6 The task assignment problem: Black squares in the entries denotes the optimal assignment with a total shelving rate of 44.

Optimalizační problém

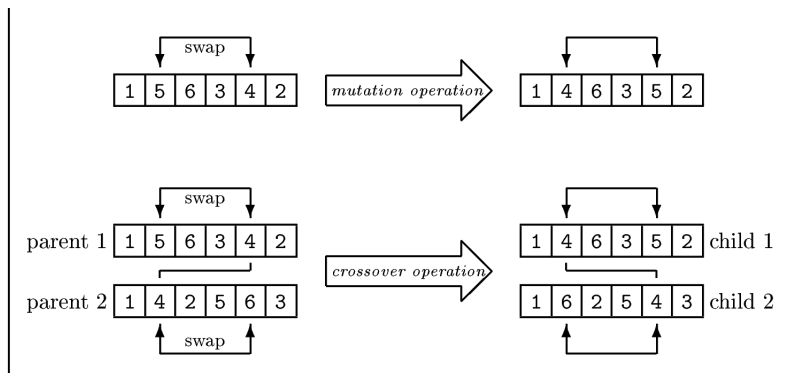


Figure 20.3 The crossover and mutation operations applied to candidate solutions of a combinatorial optimization problem

Otevřená evoluce

- evoluce nesměruje k předem danému „vrcholu“
- **koevoluce** – každý se snaží „vylézt“ co nejvýš v aktuální krajině (která se však mění)
- modely evoluce (např. genetické algoritmy) – většinou dodáváme **externí** míru zdatnosti
- jak modelovat opravdu otevřenou evoluci?

- model digitálních organismů
- prostředí = virtuální počítač
- organismy = jednoduché programy
- soutěží o dostupné zdroje:
 - procesorový čas \sim energie
 - procesorová paměť \sim materiál

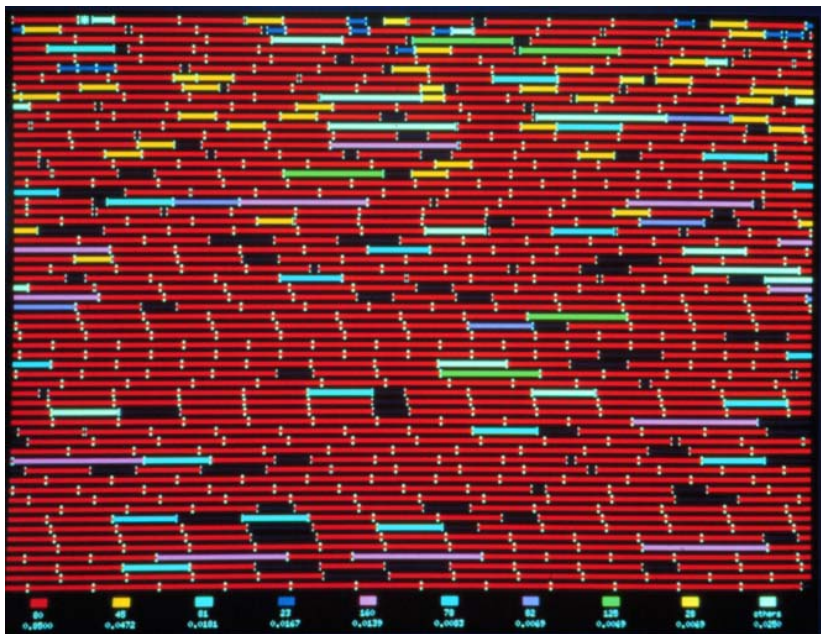
- sekvence jednoduchých instrukcí: 32 různých 5-bitových instrukcí v **zjednodušeném assembleru**
- **prapředeck** – jednoduchý program, který **kopíruje sám sebe** (ručně vytvořen)
- dál klasický genetický algoritmus (křížení, mutace)
- kopírování a míra **zdatnosti** zadány **implicitně** – zdatný je ten, kdo se zvládne množit

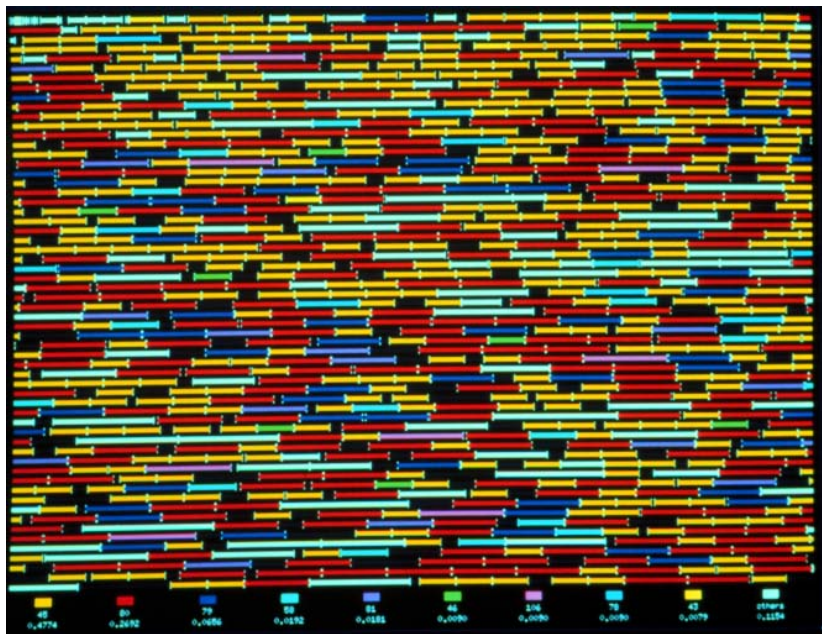
- paraziti
 - využívají pro svoje kopírování zdrojový kód jiných programů
 - jejich vlastní kód je kratší a tím jsou úspěšnější
- hyperparaziti
 - zneužívají parazitů
 - využijí toho, že parazit zavolal jejich kód, a pak už mu volání nevrátí zpět

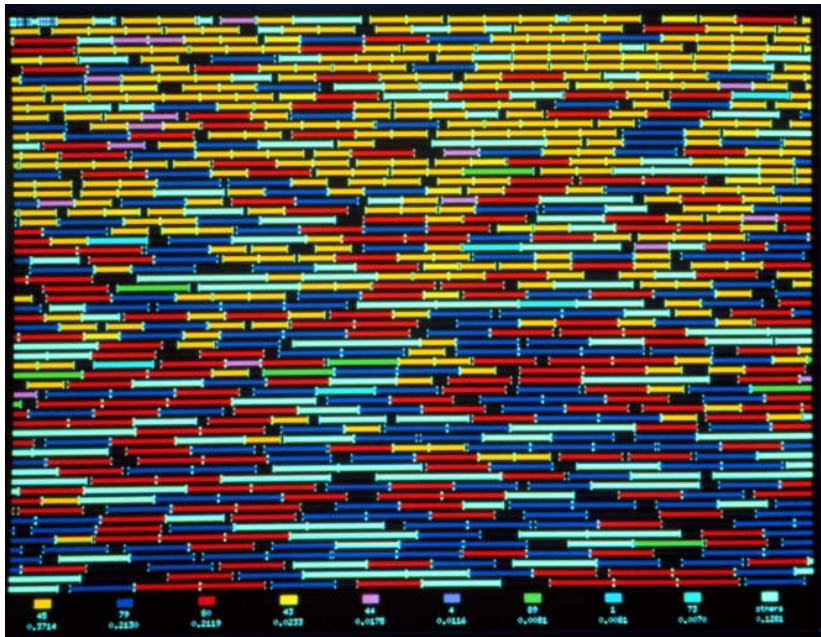
Následující ilustrace:

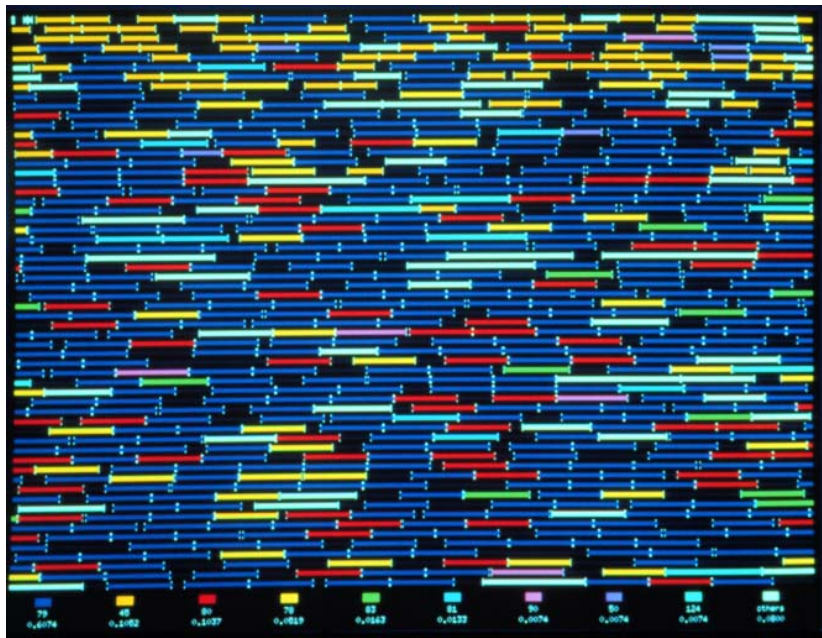
- červená: základní organismus
- žlutá: parazit
- modrá: imunní organismus

video: <https://www.youtube.com/watch?v=8jd9U8NtzxY>









Tierra: shrnutí

- bohatá a zajímavá dynamika
- existují rozšíření
- ale i tak se vývoj vždy zastaví
- nedochází tedy k opravdu otevřené evoluci