

# O význame parazitov

Andrej Lúčný

KAI FMFI UK Bratislava a MicroStep-MIS  
Čavojského 1, 841 01 Bratislava  
andy@microstep-mis.com

## Abstrakt

V prírode sa hojne vyskytujú organizmy, ktorých životným prostredím sú aspoň v určitom období ich života iné organizmy. Pojednávame o ich význame z evolučného hľadiska. V priebehu evolúcie sa organizmus začínajúci ako parazit, mení v dôsledku mutácii hostiteľa na endosymbionta, až sa nakoniec môže stať zabudovaným modulom, ktorý sa všeobecne pokladá za integrálnu zložku pôvodného hostiteľa. V prípade, že sa tento organizmus sťahuje medzi viacerými hostiteľmi, je zase veľmi dôležitým faktorom rovnováhy v prírode a jeho odstránenie, zdanlivo prospešné, môže viesť k vážnym následkom na jedincoch i na celom ekosystéme. Pri našich úvahách sledujeme predovšetkým informatické hľadisko.

## 1 Úvod

Na parazitov sa obyčajne pozeráme ako na niečo nadbytočné, ako na niečo, čoho odstránenie môže celku len osožiť. Výskum v oblasti biológie však v poslednom období odhalil nemálo prípadov, kedy je to presne naopak. Nakoľko sa v oblasti umelého života zaoberáme napodobňovaním biologickej evolúcie, zaujala nás v súvislosti s parazitmi otázka aký význam v nej zohrávajú. Šlo nám o to, či pri abstrakcii, ktorú pri počítačových simuláciách nevyhnutne robíme, klesne ich význam napríklad na faktor spomaľujúci evolúciu, alebo sa naopak ukáže, že ich uvažovanie môže viesť k takým výsledkom v evolúcii, k akým by sa nedalo inak dospieť. Počítačová simulácia evolúcie by pritom mohla vniesť isté svetlo späť na evolúciu biologickú.

Uvedieme si preto pár príkladov z prírody, opíšeme našu predstavu ich prenesenia do informatiky a budeme sa snažiť dospieť k určitým výsledkom. Pritom za cenné považujeme v tomto momente aj nápady a dobre položené otázky, nakoľko nám nie je známe, že by sa už niekto obohatením evolučných algoritmov o parazitov vôbec zaoberal.

Prv než uvedieme spomínané príklady, musíme povedať pár úvodných slov. V prvom rade, pod parazitmi nemáme na mysli hospodárskych škodcov. Dokonca aj samotný názov parazit sa nám nie celkom hodí, lebo sa neodmysliteľne spája s predstavou, že ide o organizmus,

ktorý škodí svojmu hostiteľovi. Či niečo škodí alebo nie, je pritom často vecou subjektívneho názoru. Rozumnejšie je preto zaoberať sa skupinou organizmov, ktoré nie nevyhnutne škodia, ale žijú v nejakom hostiteľovi, t.j. organizmami, ktorých životným priestorom je – aspoň v určitej fáze ich života – iný organizmus.

Uvedme si teraz v zjednodušenej podobe niekoľko príkladov z [8] spolu so zaujímavými závermi poskytnutých jej autorom C. Zimmerom.

## Príklad 1

### Parazit ako biologická zbraň

Niektoré druhy vtákov sa živia lovom rýb, pričom v čreve im žije pásomnica, zdanlivo sa priživujúca na ich strave. V skutočnosti si však na seba „zarobí“. Jej vajíčka totiž vták so svojím trusom rozpráši do oblastí, v ktorej ryby chytá. Malé pásomnice sa dostanú do rýb a usidlia sa v ich nervovej sústave. Dospieť však môžu len ak sa dostanú do tráviacej sústavy vtáka, čo je možné len tak, že vták ich hostiteľskú rybu zje. Vyvinuli si preto zaujímavý mechanizmus ako tomu napomôcť: chemicky pôsobia na nervovú sústavu ryby (t.j. doslova ju nadrogujú) tak, že sa to na jej správaní prejavuje častým metaním sa na vodnej hladine. To sa to potom vtákovi ryby chytajú, keď používa takéto „neférové“ prostriedky.

## Príklad 2

### Parazit zabezpečujúci rovnováhu v prírode

Druhy prenesené zo svojho prirodzeného prostredia majú tendenciu sa exponenciálne množiť. Okrem absencie dravca, či konkurentov v novom prostredí, môže byť dôvodom absencia parazitov. Populačnú explóziu červa, ktorý sa živí listami manioku sa v Afrike podarilo zvládnuť tým, že daného červa našli v domovskej krajine manioku - Južnej Amerike - a preniesli odtiaľ do Afriky parazitickú osičku, ktorá v danom červovi odchováva svoje larvy.

Vplyv na rovnováhu v prírode majú taktiež parazity, ktoré rôznu časť života trávia v rôznych hostiteľoch. Príkladom môže byť pásomnica žijúca v čreve ovce, ktorej larvy vychádzajúce s trusom zamorujú

trávu. Čím viac je oviec a menej trávy, tým je tráva zamorenejšia a pásomnica medzi ovcami rozšírenejšia. Pritom pásomnica veľmi výrazne znižuje reprodukčnú schopnosť ovce. Jej rozšírenie má teda vplyv na pokles počtu oviec a tým pádom na nárast trávy. Tým sa zníži zamorenie trávy a následne aj rozšírenie pásomnice.

Práve paraziti presúvajúci sa cez viacero prostredí sú najviac citliví na znečistenie životného prostredia. Ich vyhynutím môže potom prísť k premoženiu niektorého druhu a následne ku kolapsu daného ekosystému.

### Príklad 3

#### Parazit z ktorého sa stal endosymbiont

Nie všetky organizmy, ktorých životným priestorom je iný organizmus, označujeme ako škodlivé. Napríklad v našej tráviacej sústave (ako u všetkých cicavcov) žije baktéria (*Escherichia coli*), bez ktorej by sme neboli schopní stráviť našu potravu. My vlastne nejeme našu potravu, ale krmíme ňou túto baktériu a pojedáme látky, ktoré vylučuje. Bez nej by sme nedokázali prežiť. Pritom táto baktéria sa do novorodenca dostane až s potravou. Keby sme mu podávali len sterilizovanú stravu, tak neprežije.

Podobné organizmy označujeme ako endosymbionty. Funkčne sa však od parazitov ničím nelíšia. Parazity a endosymbionty sa líšia len dopadmi na hostiteľský organizmus. Je preto na mieste otázka, či tu nejde len o dva rôzne prejavy toho istého. Odpoveď je – zdá sa – pozitívna. Parazit s hostiteľom vedú evolučný boj, ktorý sa

- môže skončiť vytlačením parazita do iných hostiteľov
- nemusí skončiť nikdy, akurát nadobúda stále rafinovanejšie podoby
- môže skončiť stavom, z ktorého profituje aj parazit aj hostiteľ

Je ťažké si predstaviť, že by naši predkovia čirou náhodou narazili na baktériu, ktorá by výrazne zvýšila ich schopnosť tráviť potravu. Je oveľa pravdepodobnejšie, že boli napadnutí zákerným parazitom ktorý im pojedal ich tradičnú potravu priamo v tráviacom trakte. My potom pochádzame z toho mála preživších, ktorí na tento útok odpovedali schopnosťou tráviť výlučky tohto parazita. Tento parazit sa tým pádom stal nenahraditeľným pomocníkom, nakoľko už nepotrebná schopnosť tráviť pôvodnú potravu evolučne zakrpatela.

Predstava, že každý endosymbiont pochádza z nejakého parazita je dobrá v tom, že je oveľa ľahšie uveriť, že niekto začal niekoho vyžierať, než, že niekto začal niekomu pomáhať. Je ale možné potvrdiť si túto predstavu pozorovaním nejakých prechodných foriem medzi parazitizmom a endosymbiózou? Odpoveď je opäť

kladná. U človeka je takýmto prípadom Kronova choroba, vyskytujúca sa v oblastiach so zvýšenou hygienou. Táto choroba sa prejavuje samovoľným rozkladom konca tenkého čreva. Dlhoročné márne pátranie po prítomnosti niečoho, čo by tento rozklad spôsobovalo viedlo k zaujímavému rozuzleniu, že je spôsobený práve neprítomnosťou parazitických červov, žijúcich v tejto časti čreva. Tieto potvory vypúšťajú chemické látky, ktoré znižujú imunitný útok hostiteľa. Ľudia trpiaci Kronovou chorobou sú (progresívni) mutanti, ktorí imunitný útok v tejto oblasti zvýšili natoľko, že pokiaľ tam červy nemajú, ničí samotné črevo. Ide tu teda o príklad parazita, ktorý je nevyhnutne potrebný na to, aby hostiteľ prežil, lebo hostiteľ ho už zahrnul do svojho „plánu“.

Samozrejme, premena parazita na endosymbionta chce svoj (evolučný) čas. Logicky by sa teda dalo očakávať, že ju stretneme hlavne na úrovniach, ktoré sú evolučne staré. A vskutku, výsledok tohto procesu môžeme nájsť v každej eukaryotickej bunke [6]. Napríklad v živočíšnej bunke sa vyskytujú mitochondrie, ktoré umožňujú použiť kyslík na spaľovanie cukrov. Sú to potomkovia aerobnej baktérie, ktorá je blízkym príbuzným škvrnitého týfusu. Kedysi vyžierali cukor naším dávny predkom, ale tí sa s nimi naučili žiť natoľko, že spolu vytvorili nerozlučnú dvojicu a nadobro uväznili tohto parazita vo svojich útrobach. Je celkom sranda, že keď sa u ľudí určujú príbuzenské vzťahy v materskej línii (mitochondriálna DNA sa dedí výlučne po matke), používa sa k tomu DNA, ktorá vlastne nie je ľudská.

Strochou fantázie možno teda povedať, že živočíchy sú prvky čo sa skamarátili so škvrnitým týfusom. Podobne rastliny sú živočíchy, ktoré sa skamarátili s maláriou (čím bola ich bunka obohatená o chloroplasty).

## 2 Informatický pohľad na parazity

Môžu byť parazity zaujímavé z pohľadu informatiky? Na zodpovedanie tejto otázky je dôležité zistiť, či môžu hrať nejakú dôležitú úlohu, alebo ich rolu možno simulovať inými faktormi, ktoré už pri počítačovej simulácii bežne uvažujeme. Budeme sa teda snažiť skôr porovnať parazity so známymi mechanizmami, než priamo obohatiť nejakú konkrétnu simuláciu o parazity a ich význam vyvodit' štatisticky.

### Úvaha nad príkladom 1

#### Parazit ako biologická zbraň

Inžinier postavený pred úlohu naprogramovať riadenie modelu nejakého živého tvora, často žasne nad komplexnosťou riadenia, ktoré je na vyprodukovaní

požadovanej činnosti potrebné. R. Brooks, nadväzujúc zrejme na filozofiu T. Nagela, však správne upozornil na fakt, že inžinier sa tu často dopúšťa omylu, ktorý vychádza z jeho povrchnej znalosti o tom, ako tento tvor vníma svet. Pri senzoch akými inžinier dokáže vybaviť svoj model a pri umelom svete, do ktorého ho zasadzuje, môže byť oživenie modelu enormne náročná a pracná úloha. V reálnom (dynamickom) svete a pri správnej sade senzorov, sa však to isté správanie modelu môže dať implementovať dômyselne a jednoducho [2]. Napríklad kliešť nepotrebuje vedieť rozpoznať z obrazu človeka. Pohybuje sa prosto v smere zvyšujúcej koncentrácie mastných kyselín, ktoré sa z človeka odparujú. Na to, aby na človeka skočil a cical ho, to úplne stačí. Podobne slimák Littorino sa sám nevie vrátiť do mora, ale vie vyliezť len natoľko, aby ho spláchol nasledujúci príliv.

Parazity používané ako biologická zbraň sú ďalším vďačným príkladom takéhoto „čerpania inteligencie z prostredia“. Nevylučujeme síce, že vták vie chytiť aj rybu, ktorá nie je parazitom navedená na to, aby sa chytiť nechala, ale každopádne je to zaujímavý príspevok k nacvičeniu tohto umenia. Každé cvičenie potrebuje pozitívne príklady, ktoré sa len ťažko môžu získať, pokiaľ rovno cvičíme niečo obtiažne. Mať možnosť nacvičiť sa na jednoduchšom prípade je tu vítaná.

Parazitmi sa dá vysvetliť aj to, že rybám sa neoplatí vynájsť taktiku ako sa držať pri dne a nedať vtákom šancu. Vtedy by totiž vtáky chytili len parazitom napadnuté ryby a to by viedlo rozbužneniu parazita a možno vychytaniu všetkých rýb. Ryby sa doslova môžu parazitom evolučne brániť tým, že sa nechajú vtákovi chytiť aj bez parazitov. Ak teda určitá počítačová simulácia speje do úplne iného stabilného bodu než by sme na základe pozorovania chceli, jedným z možných aspektov simulácie, ktoré musíme začať uvažovať, aby vývoj spel inam, sú práve parazity.

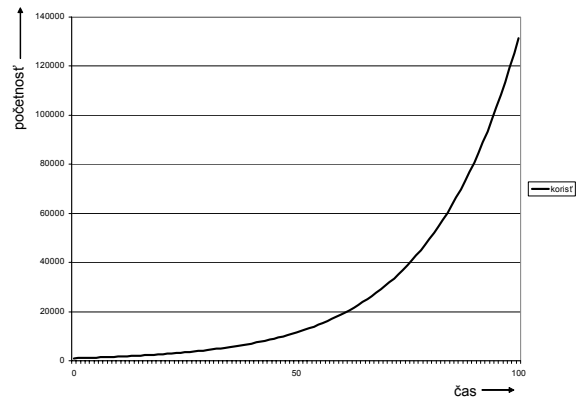
## Úvaha nad príkladom 2

### Parazit zabezpečujúci rovnováhu v prírode

Ak vie prítomnosť parazita odkloniť vývoj k inému stabilnému riešeniu, než by sa dosiahlo v systéme bez neho, je namieste sa zamyslieť nad schopnosťou parazitov k tejto stabilite prispievať. Prírodným sklonom každého druhu je exponenciálne sa množiť až do vyčerpania všetkých zdrojov, ktoré má k dispozícii (obrázok 1).

V počítačovej simulácii vývoja určitého ekosystému, ktorá predvída početnosti jednotlivých druhov, je spravidla veľmi ťažké dosiahnuť, aby mal vývoj ekosystému oscilačný charakter, zabezpečujúci jeho stabilné prežitie. Dlhé roky tu ako svetlý príklad poznáme matematické modely založené na sústave

diferenciálnych rovníc, ktoré oscilačný charakter (za určitých rozumných podmienok) majú.



Obr 1. Prírodný rast populácie

Najznámejším je model Lotka-Volterra [1] [4] [7], ktorý stanovuje početnosti koristi  $x$  a dravcov  $y$  podľa rovníc na základe špecifikácie ich derivácii podľa času (t.j. okamžitých zmien):

$$\dot{x} = a \cdot x - b \cdot x \cdot y$$

$$\dot{y} = c \cdot x \cdot y - d \cdot y$$

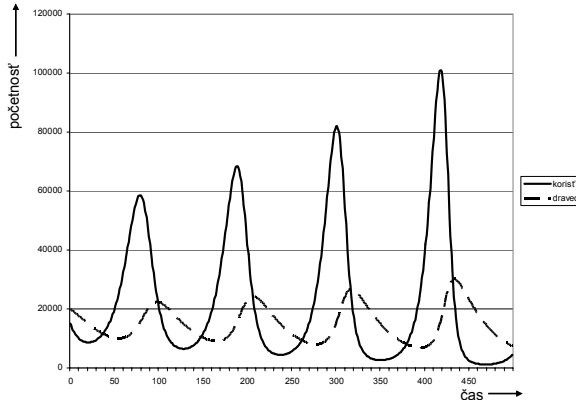
kde jednotlivé konštanty predstavujú:

- $a$  nárast početnosti koristi pri absencii dravcov
- $b$  pokles početnosti koristi následkom lovu dravcov
- $c$  nárast početnosti dravcov následkom ulovenia koristi
- $d$  pokles populácie dravcov pri absencii koristi

Tento model vychádza z predpokladu, že dravec a korisť sa vyskytujú v spoločnom priestore - každý s určitou pravdepodobnosťou - takže sa stretnú s pravdepodobnosťou rovnajúcou sa súčinu týchto pravdepodobností. Početnosť ulovenia koristi je teda  $x \cdot y$ . Je síce ťažko prijateľná predstava, že máme rovnaký počet ulovení ak máme 10 kusov dravcov a 100 kusov koristi ako keď máme 100 kusov dravcov a 10 kusov koristi, nič menej nič lepšie nám analytický prístup neponúka. Preto aj funkciu parazitov budeme skúmať rozšírovaním tohto modelu.

Vývoj modelu Lotka-Volterra pre vhodné parametre  $a, b, c, d$ , pri ktorých sa ako-tak darí „odrážať“ početnosti koristi a dravcov od  $x$ -ovej osi (dosiahnutie ktorej sa rovná vyhynutiu) môžeme vidieť na obrázku 2. (Nájsť vhodné parametre je inak riadna fuška, my sme použili  $a=0.15$ ,  $b=0.01$ ,  $c=0.001$ ,  $d=0.017$ ,  $x_0=15$ ,  $y_0=20$  odvodené z [4], pričom sme výsledné početnosti vhodné prenásobili konštantou, aby boli spolu na grafe dobre

viditeľné). Tento obrázok je trochu zavádzajúci v tom, že z matematickej analýzy vyplýva, že výkyvy sú rovnako veľké. Hneď tak vidíme, že stabilita modelu Lotka-Volterra je numericky labilná. Zväčšujúci sa výkyv je totiž spôsobený akumulujúcou sa numerickou chybou. Od prírody môžeme ale ťažko očakávať, že bude svoje „výpočty“ realizovať s absolútnou presnosťou.



**Obr. 2.** Vývoj populácií dravcov a koristi podľa modelu Lotka-Volterra

Uvažujme teraz parazity prechádzajúcich viacerými hosťiteľmi, ako je prípad tráva - ovca, a skúsme pozmeniť tento model, aby parazitov zahrňoval. Akú rolu by v ňom mali parazity hrať? Tým, že nakazené ovce zamorujú larvami parazitov trávu, spôsobujú pri malom množstve trávy veľké zamorenie oviec. Tým sa redukuje ich počet a vytvára sa šanca aby narástla nová nezamorená tráva. Parazity teda ovciam vlastne signalizujú, že už je málo trávy a zabránia tomu, aby ju zjedli všetku. Toľko aspoň názor C. Zimera z [8]. Čo na to matematika? Označme si:

- $x$  početnosť trávy
- $y$  početnosť oviec
- $r$  faktor zamorenia trávy parazitmi (podiel početnosti zamorenej trávy a všetkej trávy)
- $s$  faktor zamorenia oviec (podiel početnosti zamorených oviec a všetkých oviec)
- $f$  úspešnosť prenosu parazita z ovce na trávu
- $g$  úspešnosť prenosu parazita z trávy na ovcu
- $h$  prirodzený pokles populácie parazitov v tráve
- $i$  prirodzený pokles populácie parazitov v ovciach

Potom môžeme zmenu faktorov zapísať ako

$$\dot{r} = f \cdot s \cdot y \cdot x \cdot (1 - r) - h \cdot r$$

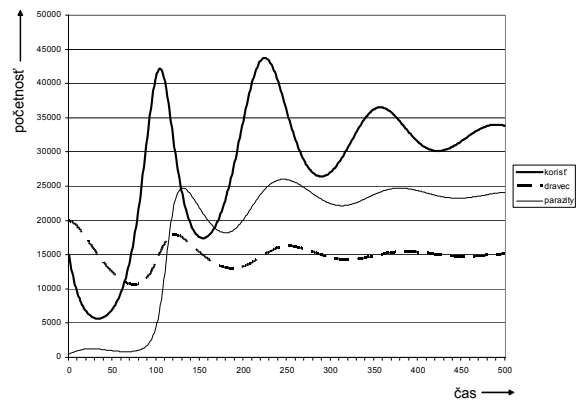
$$\dot{s} = g \cdot r \cdot x \cdot y \cdot (1 - s) - i \cdot s$$

lebo tráva sa zamoruje tým, že zamorené ovce (ktorých je  $s \cdot y$ ) majú kontakt s nezamorenou trávou (tej je  $x \cdot (1 - r)$ ) a ovce sa zamorujú tým, že nezamorené ovce (ktorých je  $(1 - s) \cdot y$ ) stretajú zamorenú trávu (a tej je  $r \cdot x$ ). (Vďaka násobeniu s  $(1 - r)$  resp.  $(1 - s)$  sa  $r$  a  $s$  držia v  $(0, 1)$ ).

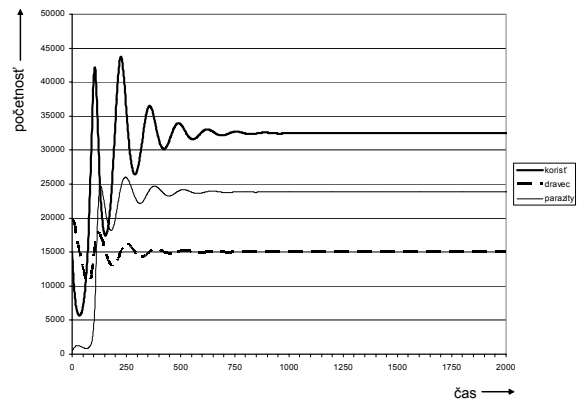
Ako teraz premietneme faktory  $r$  a  $s$  do modelu Lotka-Volterra? Najjednoduchšie je predstaviť si, že parazity majú zásadný vplyv na rozmnožovanie dravcov, t.j. že sa rozmnožujú len tie dravce, čo sú bez parazitov. V danom člene modelu Lotka-Volterra teda miesto  $y$  použijeme  $(1 - s) \cdot y$  a dostaneme:

$$\dot{x} = a \cdot x - b \cdot x \cdot y$$

$$\dot{y} = c \cdot x \cdot (1 - s) \cdot y - d \cdot y$$



**Obr. 3.** Vývoj populácií dravcov, koristi a parazitov v upravenom modeli



**Obr. 4.** Vývoj populácií dravcov, koristi a parazitov v dlhšom časovom horizonte

Vývoj tohto systému (pre parametre  $a=0.15$ ,  $b=0.01$ ,  $c=0.001$ ,  $d=0.017$ ,  $f=0.01$ ,  $g=0.01$ ,  $h=0.1$ ,  $i=0.1$ ,  $x_0=15$ ,  $y_0=20$ ) vidíme na obrázku 3, vrátane početnosti parazitov. Na obrázku 3. vidíme vývoj za rovnaké obdobie ako je na

obrázku 2. Dlhodobejší vývoj vidíme na obrázku 4 (analogický obrázok pre model Lotka-Volterra nie sme schopní vygenerovať, lebo v nami používaných primitívnych prostriedkoch sa model krátko po 500 iteráciách numericky zrúti).

Je takmer zbytočné komentovať tieto obrázky konštatovaním, že parazity majú enormný stabilizujúci účinok. C. Zimmer sa teda vo svojich kvalitatívnych úvahách vôbec nemýli. Z infromatického hľadiska môžeme dodať, že je to oveľa poctivejšia stabilizácia, než sme pri bežných modeloch zvyknutí. Zdá sa nám preto, že náš model s parazitmi je kvalitatívne iný než modely, ktoré uvažujú korisť, dravca a jeho dravca. Nedisponujeme však dostatočným matematickým vzdelaním na to, aby sme seriózne rozhodli, či je nami uvažovaná sústava diferenciálnych rovníc transformovateľná na niektorý zo známych trojdruhových modelov dravec – korisť. Domnievame sa však, že tu ide naozaj o niečo kvalitatívne odlišné.

Zaujímavé je taktiež pohrať sa s konštantami nášho modelu. Prekvapivé zistenie je, že stabilita veľmi závisí od konštanty  $i$  a vyžaduje aby  $i > 0$ . V biologickej reči to znamená, že podstatným stabilizačným faktorom je boj dravca proti parazitom, t.j. prirodzená schopnosť hostiteľa zbavovať sa čiastočne parazitov imunitnou reakciou.

Samozrejme hodnotnejšie než tieto sumárne modely by bolo vedieť odsimulovať vývoj ekosystému multiagentovým modelovaním (typu swarm, viď [1]), v ktorom jednotlivé početnosti druhov povstávajú z individuálnych správání jedincov daného druhu. Pokroky v technike (máme na mysli predovšetkým GRIDy) by to celkom umožňovali. Pokusy v tejto oblasti naznačujú naše nedostatočné poznanie všetkých faktorov, ktoré sa na rovnováhe v ekosystéme podieľajú. Preto aj na nami uvedený model sa treba dívať len ako na priblíženie sa ku oveľa komplikovanejšej skutočnosti.

### Úvaha nad príkladom 3 - Parazit z ktorého sa stal endosymbiont

Endosymbióza je jednoznačne zaujímavý konštrukčný prvok, ktorý minimálne urýchľuje biologickú evolúciu, nakoľko umožňuje spojiť v jednom celku dve nezávislé evolučné cesty. Z infromatického hľadiska predstavuje modularitu, spojenie dvoch nezávisle sa vyvíjajúcich modulov, do jedného celku, ktorý sa ďalej vyvíja koevolúciou.

Je pomerne ľahké nahliadnuť, že tento vývoj je informačne izomorfný so situáciou, keď vyvíjame dva nezávislé druhy, ktoré môžu nejako spolupracovať a vo vývoji ktorých sa príživníctvo zmení na symbiózu. Z infromatického pohľadu je totiž jedno či je parazit vnútri hostiteľa alebo príživník vedľa altruistu.

Parazity z tohto motivačného príkladu majú teda presne taký význam ako už dávno známa koevolúcia druhov. Na osvetlenie významu koevolúcie uvažujme celok z dvoch častí  $A$  a  $B$ , pričom reprodukčná schopnosť  $f$  (fitness) každej časti je rovná reprodukčnej schopnosti celku, teda

$$f(A \cup B) = f(A) = f(B)$$

Pritom platí, že táto reprodukčná schopnosť je daná spoluprácou medzi  $A$  a  $B$ , ktorú nech pre zjednodušenie predstavuje jediný vonkajší znak  $A$  (označme ho  $u$ ) a jediný vonkajší znak  $B$  (označme  $v$ ), čiže

$$f(A \cup B) = F(u(A), v(B))$$

kde  $F(u, v)$  je symetrická a rastúca ako od  $u$ , tak od  $v$ .

Ďalej nech  $A$  je sada génov  $(a_1, a_2, \dots, a_n)$  a  $B$  je sada génov  $(b_1, b_2, \dots, b_m)$ . Otázka teraz je, či sa niečo získa tým, že  $A$  budeme krížiť nezávisle od  $B$ . Keď ich krížime spolu, tak krížime jedincov:

$$\begin{aligned} &(a_{1,1}, a_{1,2}, \dots, a_{1,n}, b_{1,1}, b_{1,2}, \dots, b_{1,m}) \text{ a} \\ &(a_{2,1}, a_{2,2}, \dots, a_{2,n}, b_{2,1}, b_{2,2}, \dots, b_{2,m}) \\ &\text{na} \\ &(a_{i1,1}, a_{i2,2}, \dots, a_{in,n}, b_{j1,1}, b_{j2,2}, \dots, b_{jm,m}) \end{aligned}$$

kde  $i1, \dots, in, j1, \dots, jm$  je  $1$  alebo  $2$

To je ale presne to isté ako keď skrížime

$$\begin{aligned} &(a_{1,1}, a_{1,2}, \dots, a_{1,n}) \text{ s } (a_{2,1}, a_{2,2}, \dots, a_{2,n}) \text{ a} \\ &(b_{1,1}, b_{1,2}, \dots, b_{1,m}) \text{ s } (b_{2,1}, b_{2,2}, \dots, b_{2,m}) \\ &\text{na} \\ &(a_{i1,1}, a_{i2,2}, \dots, a_{in,n}) \text{ a } (b_{j1,1}, b_{j2,2}, \dots, b_{jm,m}) \end{aligned}$$

Pri klasickom koncepte kríženia teda separátnym krížením nezískame z infromatického hľadiska nič podstatné (maximálne možnosť rôznej frekvencie kríženia  $A$  a  $B$  a pod.).

Príroda pochopiteľne z modularity profituje tým, že získava čas. Príroda však disponuje počítačom, na ktorom môže paralelne pustiť mnoho procesov bez spomalenia ich vykonávania. My taký počítač nemáme a každý paralelizmus spomaľuje plynutie evolučného času v porovnaní s časom výpočtu. Pre genetické algoritmy teda modularita prakticky nemá význam pokiaľ je genotypom vektor a krížením premiešanie týchto vektorov.

Iná otázka je, čo by sa dialo, keby sme použili iný genotyp a iné formy kríženia. Napríklad keby sme ako genotyp použili niektorú z foriem multiagentovej

modularity ako sú C-gramatiky [3]. Túto otázku ponechávame otvorenú.

Profitovať sa tu však určite dá zo samotného tvaru reprodukčnej schopnosti  $F(u,v)$ . V [5] sme ukázali, že takýto systém dokáže vykázat' niečo ako generalizovaný Baldwinov efekt (generalizovaný preto, lebo tu nie je požadované aby  $u$  bola veľkosť znaku a  $v$  jeho plasticita, ale ľubovoľné dva znaky podieľajúce sa určitým špecifickým spôsobom na schopnosti reprodukcie). Tento efekt môže urýchľovať i spomaľovať evolúciu a dokáže vysvetliť jav prerušovanej rovnováhy, čo sú cenné vlastnosti. Takýto tvar však dokážeme zvoliť aj bez modularity a koevolúcie.

### 3 Záver

Môžu byť parazity zaujímavé z pohľadu informatiky? Na zodpovedanie tejto otázky je dôležité zistiť, či môžu hrať. V našom príspevku sme sa snažili čerpať z biológie nové podnety pre informatiku a spätne nastolovať v biológii určitý poriadok podoprený matematicky a informaticky. Konkrétne sme sa zaoberali troma modelovými príkladmi z oblasti štúdia parazitov, z ktorých najmä výsledky v oblasti stability ekosystému naznačujú, že často je lepšie získavať inšpiráciu v biológii, než sa zaoberať čistou matematikou. Samozrejme, ako ukazujú ďalšie naše výsledky, inšpirácia sa v istých prípadoch môže ukázať ako zanedbateľná alebo zodpovedajúca už niečomu dobre známemu. Nič menej, naším článkom sme nielen chceli nejako informaticky potvrdiť či vyvrátiť kvalitatívne odvodené tvrdenia o význame parazitov, ktoré postuloval C. Zimmer v [8], ale aj vyzvať informatikov, aby radšej podobným spôsobom skúmali informatický charakter všetkých aspektov biologickej evolúcie, než odvádzali nové a nové umelé varianty raz urobenej abstrakcie.

Za najcennejší výsledok článku považujeme rozšírenie modelu Lotka-Volterra o parazity, ale nehanbíme sa ani za negatívny výsledok o význame parazitizmu prerastajúceho v endosymbiózu. Pokiaľ by sa napriek tomu videl tento článok niekomu príliš „odvážny“, práve parazity majú k tomu veľa čo povedať. V modelovom príklade 1, v ktorom vystupuje parazit ako biologická zbraň, sme totiž nespomenuli jednu zaujímavú okolnosť. Do analogického prípadu sme totiž zapletení aj my – ľudia – a to v roli loveneј koristi. Existuje prvok toxoplazma, ktorý dospieva v mačkoviteј šelme, zatiaľ čo svoju mladosť si odkrúti v mozgu myši alebo človeka. Človek pre toxoplazmu znamená v súčasnosti prakticky slepú vetvu, nakoľko mačkovité šelmy čo by nás mohli zjesť sme zavreli do rezervácii a zoologických záhrad. Avšak vďaka fungujúcemu cyklu mačka – myš a našej prítulnosti k mačkám, sa toxoplazma nachádza v mozgu každého tretieho Európana. Našťastie tam nerobí prílišnú

škodu. Chemickým pôsobením na náš mozog však zabezpečuje, aby sme sa snažili útoiaceho leva umlútiť, miesto toho, aby sme pred ním utekali. Táto zvýšená odvaha sa môže prejavovať v rôznych oblastiach ľudského správania. Pravdepodobne nikto neskúmal vzťah medzi toxoplazmou a odvahou publikovať články, ale vskutku, keď som bol malý, mal som dvoch kocúrikov a myši chytali hojne.

### Literatúra

- [1] Csontó, J – Palko, M.: *Umelý život*. Elfa, Košice, 2002.
- [2] Kelemen, J.: *Strojovia a agenty*. Archa, Bratislava, 1993.
- [3] Kelemen, J.: Multiagent symbol systems and behavior-based robots. *Applied Artificial Intelligence* 7, (1993), 419-432.
- [4] Kvasnička, V. – Pospíchal, J. – Tiňo, P.: *Evolučné algoritmy*. Vydavateľstvo STU, Bratislava, 2000.
- [5] Lúčny, A.: Baldwinov efekt – plyn a brzda evolúcie. In: *Kognice a umelý život III*, Kelemen J. (ed.), Opava, 2003.
- [6] Margulisová, L.: *Symbiotická planeta*. Academia, Praha, 2004.
- [7] Medved', M.: *Dynamické systémy*. Univerzita Komenského, Bratislava, 2000.
- [8] Zimmer, C.: *Vládce parazit*. Fénix, Praha, 2005.