

1. kapitola

Úvodné poznámky

Rozvoj modernej informatiky je pozitívne poznamenaný skutočnosťou, že hľadá inšpiráciu v živej prírode, snaží sa formalizovať a implementovať paradigmy živej prírody pre návrh nových algoritmov, postupov a metód. V tejto knihe sa budeme sa zaoberať metaforou prevzatou zo živej prírody, a to Darwinovou evolučnou teóriou. Táto metafora viedla ku vzniku evolučných algoritmov, ktoré patria v súčasnosti medzi aktuálna problematiku informatiky a numerickej matematiky. Prekvapujúce na tejto novej netradičnej oblasti informatiky je, že okrem toho, že sa už stala organickou súčasťou modernej informatiky, stala sa tiež mostom medzi exaktnými prírodovedeckými oblasťami a vedami o živej prírode a určitou časťou humanitných vied. Informatici majú teraz v rukách mocný simulačný nástroj, pomocou ktorého môžu získať relevantné odpovede na rôzne dôležité otázky a evolučné problémy biológie, psychológie, sociológie atď., ktoré boli donedávna prístupné len špekulatívnym diskusiám založeným hlavne na analógiách alebo domnienkach autorov. Z pohľadu teórie a histórie vedy sa jedná o unikátny fenomén modernej vedy. Obvykle "mosty" medzi rôznymi vednými oblasťami vznikajú ako výsledok intenzívnych interdisciplinárnych snáh preklenúť dve rôzne vedné oblasti. V našom prípade sa jednalo o pomerne "jednostranný akt" v rámci informatiky, aplikovali sa paradigmy živej prírody ako možné alternatívne algoritmy učenia a adaptácie, a až neskôr sa ukázalo, aký silný simulačný prostriedok má k dispozícii informatika pre pochopenie a interpretáciu javov a procesov prebiehajúcich v živej prírode. Na tejto situácii je pre informatikov fascinujúce to, že sa dostali do centra vedeckých aktivít, kde v rámci mierne modifikovaného argumentačného a pojmového aparátu informatiky získavajú relevantné výsledky týkajúce sa evolučných procesov v živej prírode alebo procesov prebiehajúcich na elementárnej úrovni neurónov v mozgu pri jeho kognitívnych aktivitách.

Niekoľko poznámok k metafore Darwinovej evolučnej teórie. Biologická evolúcia je progresívna zmena genetického obsahu populácie v priebehu mnohých generácií. Obsahuje tieto tri zložky:

1. *Prírodný výber* (Darwin), proces v ktorom jedinci s vysokou silou (angl. *fitness*) vstupujú s väčšou pravdepodobnosťou do procesu reprodukcie ako jedinci s malou silou.
2. *Náhodný genetický drift*, v ktorom náhodné udalosti v živote jedincov ovplyvňujú populáciu. Takýmito udalosťami sú napr. náhodná mutácia genetického materiálu alebo náhodná smrť jedinca s vysokou silou predtým, ako mal možnosť zúčastniť sa

reprodukčného procesu. Náhodné efekty genetického driftu sú významné hlavne pre malé populácie.

3. *Reprodukčný proces*, v rámci ktorého sa z rodičov vytvárajú potomkovia. Genetická informácia potomkov je vytvorená vzájomnou výmenou genetickej informácie rodičov. Najčastejšie tento proces prebieha tak, že z genetickej informácie dvoch jedincov sa náhodne vyberú časti chromozómu - informácie, z ktorých je potom zostavená genetická informácia nového jedinca - potomka (tzv. sexuálna reprodukcia). Tento proces sa inak volá kríženie, a vzhľadom na to, že sa vyskytuje u všetkých zložitejších organizmov, môžeme usúdiť, že podstatne zväčšuje rýchlosť a účinnosť evolúcie.

V biológii je sila definovaná ako relatívna schopnosť prežiť a reprodukovať sa v danom prostredí a v danej populácii. Sila môže byť chápaná ako integrálny atribút genotypu - genetickej informácie materiálne realizovanej chromozómom jedinca populácie. Povrch sily patrí medzi užitočné pojmy ako vizualizovať evolúciu populácie, pozri obr. 4.

Evolučné algoritmy, založené na metafore Darwinovej evolučnej teórie, predstavujú nový netradičný prístup k hľadaniu optimálneho (alebo suboptimálneho) riešenia zložitých optimalizačných problémov, ktoré klasickými technikami nie sú riešiteľné. Základným pojmom týchto algoritmov je populácia chromozómov, ktoré sú obvykle tvorené lineárnymi reťazcami symbolov. V týchto chromozómoch je zakódované aktuálne riešenie optimalizačného problému, chromozómy zodpovedajúce kvalitnému riešeniu sú ohodnotené vysokou silou. Vstup do procesu reprodukcie je úmerný sile chromozómov (chromozómy s väčšou silou vstupujú s väčšou pravdepodobnosťou do reprodukcie). Táto reprodukcia obsahuje ešte aj určitý náhodný faktor (genetický drift) vyjadrený možnosťou náhodnej mutácie (v reťazci je náhodne vybraný symbol zamenený iným náhodne vybraným symbolom). Táto skutočnosť umožňuje evolúcii hľadať nové riešenia, ktoré sa v populácii ešte vôbec nevyskytli a môžu byť veľmi nádejné pre ďalšiu evolúciu populácie. Po určitom počte generácií začnú sa v populácii vyskytovať jedinci - chromozómy, ktoré reprezentujú vysoko kvalitne riešenie daného optimalizačného problému.

Vyššie popísaná základná idea evolučných algoritmov je založená na formalizácii Darwinovej evolučnej teórie, ktorá je prevzatá do informatiky z biológie. V súčasnosti už existuje v informatike celá paleta evolučných algoritmov, ktoré sú založené na rôznej interpretácii Darwinovej evolučnej teórie, na zdôraznení niektorého partikulárneho aspektu atď. Dokonca vznikli evolučné algoritmy, ktoré svoju inšpiráciu nehľadali v živej prírode, ale v neživej prírode - vo fyzike. Dobrou ilustráciou evolučných algoritmov založených na inej paradigme ako Darwinovej evolučnej teórii je metóda simulovaného žihania, ktorá vychádza z predstáv evolúcie termodynamických systémov.

V súčasnosti patria evolučné algoritmy medzi základné nástroje modernej informatiky v prípadoch hľadania riešení v extrémne zložitých situáciách, kedy použitie štandardných deterministických metód založených na technikách úplného prehľadávania je neaplikovateľné (akoby sme hrali šach tak, že najprv zostrojíme všetky možné ťahy až do konca hry a z týchto vyberieme ten ťah, ktorý najrýchlejšie

vedie k výhre). Ukazuje sa, že evolučná metafora je veľmi efektívnym prístupom na riešenie týchto zložitých problémov najmä v prípadoch, keď nepotrebujeme optimálne riešenie problému, ale vystačíme aj s kvalitným suboptimálnym riešením. Základné vlastnosti týchto algoritmov môžeme zhrnúť takto:

1. Evolučné algoritmy patria medzi základné prostriedky modernej numerickej matematiky pre hľadanie riešenia zložitých optimalizačných problémov. Používajú sa vtedy, ak hľadáme také globálne minimum, ktoré je obklopené množstvom lokálnych miním. Táto skutočnosť je prekvapujúca (podobne ako pre neurónové siete vlastnosť, že sú univerzálny aproximátor funkcií), adaptujú a modifikujú všeobecné predstavy o Darwinovej evolučnej teórie dostali sme univerzálnu numerickú optimalizačnú metódu.
2. Evolučné algoritmy môžu byť vo všeobecnosti chápané ako abstrakcia a formalizácia Darwinovej evolučnej teórie. Pomocou evolučných algoritmov môžeme numericky simulovať darwinovskú evolúciu založenú na prirodzenom výbere a náhodnom genetickom drifte. Evolučné algoritmy poskytujú univerzálny algoritmus pre simuláciu evolúcie, v ktorom je potrebné modifikovať len spôsob určenia sily chromozómu pomocou zodpovedajúceho reťazca symbolov (v biológii sa tento problém nazýva zobrazenie genotypu na fenotyp, kde lineárny reťazec chromozómu kóduje organizmus, ktorého schopnosť reprodukcie a prežitia je mierou sily daného chromozómu). Táto možnosť otvára veľké možnosti pre informatikov zaoberajúcich sa genetickými algoritmi pre nové netradičné aplikácie v rámci evolučnej biológie, pri sledovaní evolučného vývoja tej-ktorej (aj sociálnej) vlastnosti, ktorá je zakódovaná v chromozóme.

Literatúra

- [1] J. Holland: Adaptation in Natural and Artificial Systems. University of Michigan Press, Ann Arbor, 1975.
- [2] L. Davis (ed): Genetic Algorithms and Simulated Annealing. Morgan Kaufman, Los Altos, CA, 1987.
- [3] D. Goldberg: Genetic Algorithms in Search, Optimization, and machine learning. Addison-Wesley, 1989.
- [4] M. Mitchel: An Intyroduction to Genetic Algorithms, The MIT Press, Cambridge. MA, 1996.
- [5] T. Bäck: Evolutionary Algorithms in Theory and Practice: Evolutionary Strategies, Evolutionary Programming, Genetic Algorithms. Oxford University Press, Oxford, 1996.
- [6] T. Bäck, D. B.Fogel, and Z. Michalewicz (eds.): Handbook of Evolutionary ComputationOxford University Press, Oxford, 1997.
- [7] D. Fogel: Evolutionary Computation: Toward a New Philosophy of Machine Intelligence. IEEE Press, Piscataway, NJ, 1995.

- [8] J. R. Koza: Genetic Programming: On the programming of Computers by means of Natural Selection. MIT Press, Cambridge, MA, 1992.
- [9] Z. Michalewicz: A Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs. Springer Verlag, Berlin, 1992.
- [10] P. M. J. van Laarhoven E. H. L. Aarts: Simulated Annealing: Theory and Applications. Reidel, Dordrech, The Netherlands, 1987.
- [11] F. Glover and M. Laguna: Tabu Search. Kluwer Academic Publishers, Dordrech, The Netherlands, 1997.
- [12] J. Pospíchal a V. Kvasnička: Genetické algoritmy: nic pro biology. Pokroky matematiky, fyziky a astronómie, 40 (1995) 1-10.
- [13] V.Kvasnička, J. Pospíchal: Stochastické optimalizační metody v chemii. Chemické Listy **88** (1994), 484-490.
- [14] V. Kvasnička, J. Pospíchal: metóda zakázaného hladania (tabu search) pre riešenie zložitých optimalizačných úloh. Československý časopis pro fyziku **44** (1994), 247-253.