Cuckoo search

J. Premus – Mendelovo gymnázium v Opavě, janpremus@seznam.cz
E. Kutaš – Bilingválne gymnázium M. Hodžu, eduardk13@gmail.com
R. Sgallová – Gymnázium Ch. Dopplera, rachel.sgallova@centrum.cz

Abstrakt:

Cílem miniprojektu byla implementace metody cuckoo search, která je používána k hledání globálních minim funkcí o mnoha proměnných. Tuto jsme následně otestovali na několika problémech z oborů matematiky, fyziky a ekonomie.

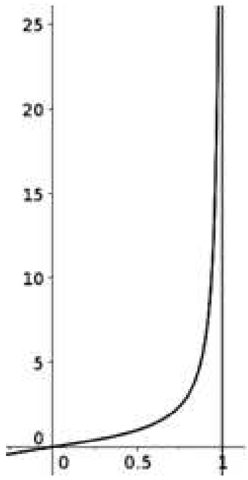
1 Úvod

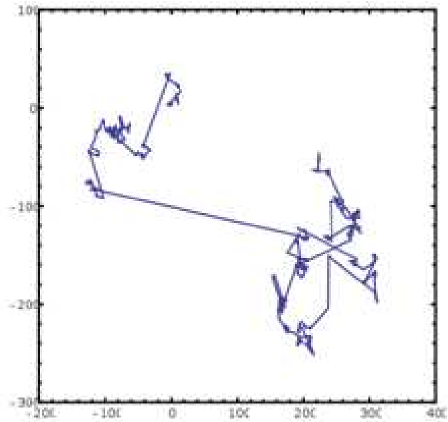
V současné době se řada metod, používaných k hledání optimálních řešení, inspiruje přírodou. Jednou z těchto metod je *Cuckoo Search* (CS).

Inspirací při vytváření CS bylo chování kukaček. Na nich je zajímavá především jejich agresivní strategie při reprodukci. Některé druhy kukaček totiž kladou vejce do hnízd cizích druhů. Proto jsou přizpůsobena jak vejce (zbarvení skořápky), tak ptáčata. Ta se líhnou většinou o několik dní dříve než potomci hostitelského druhu, mohou tak ostatní vejce rychle odstranit z hnízda. Jsou schopna také napodobovat volání mláďat hostitele. Z těchto důvodů je hostitelé nejsou většinou schopni rozeznat od vlastních a krmí je až do dospělosti. V případě nedostatečných mimiker však mohou být vejce opuštěna.

2 Lévy flight

Lévy flight (LF) je specifickou metodou volby náhodných kroků, která se vyznačuje nelineárním rozdělením pravděpodobnosti, jeho ukázka je v grafu 2. LF má nekonečný průměr a standardní odchylku. To v praxi znamená, že délka letu kukaček je ve většině případů velmi malá (viz graf 1), ale existuje šance, že kukačky přeletí velkou vzdálenost. Pro výpočet délky jsme použili následující vzorec: $y = T \tan\left(\frac{\pi}{2}x\right);\ x \in (0,1)$.





Graf 1 *Graf 2*

3 Cuckoo Search

CS je optimalizační metoda, jejím účelem je tedy nalezení optimálního řešení. To je na funkci většinou zobrazeno jako globální minimum. U mnoha obvyklých optimalizačních metod typu gradientní metody nebo Monte Carlo ale může nastat problém, kdy se postup zasekne v lokálním minimu. Pravděpodobnost výskytu této chyby se zvyšuje s počtem minim, tedy se složitostí optimalizační úlohy.

V CS je to řešeno tak, že je konfigurační prostor prohledáván na více místech najednou. Uvažujeme *N* hnízd, každé na jiném místě v prostoru, ve kterém je umístěno vejce kukačky. Vejce je tedy definované vektorem $\boldsymbol{x} = (x_1, x_2, ..., x_P)$, kde P je počet nezávislých proměnných a funkční hodnotou F_x (tzv. *fitness*) v tomto bodě. Hnízda si podle F_x můžeme seřadit od nejkvalitnějšího (pokud bychom se drželi přirovnání ke kukačkám, tak se jedná o vejce s nejlepšími mimikrami). Množství A nejméně kvalitních vajec bude opuštěno, a kukačka musí zvolit jiné náhodné hnízdo - $\boldsymbol{x}$.

Navíc je během cyklu vybráno jedno náhodné hnízdo, ze kterého je proveden LF, k nové pozici přiřadíme F_x a její novou hodnotu porovnáme s fitness jiného náhodně vybraného hnízda - F_y. Pokud je F_x kvalitnější než F_y , nahradíme hnízdo $\boldsymbol{y}$ hnízdem $\boldsymbol{x}$.

Náhodný posun a opuštění hnízd je opakováno *M* krát.

Algoritmus naší metody tedy vypadá takto:

Náhodně naplň N hnízd xi , i = 1,2,. . .,n
Pro všechna xi spočítej fitness Fi = f (xi)

while j < M do

Vyber náhodné hnízdo $\boldsymbol{x}_k$
Vytvoř hnízdo $\boldsymbol{x}_l$ pomocí LF z $\boldsymbol{x}_k$
spočítej fitness F_l
Vyber náhodné hnízdo $\boldsymbol{x}_o$

if (F_l > F_o) pak
$\boldsymbol{x}_o = \boldsymbol{x}_l$
$F_o = F_l$
end if

```
    Seřaď hnízda podle Fi

    Opusť A nejméně kvalitních hnízd.
    Vytvoř A nových hnízd pomocí LF, spočítej jejich Fi

    end while

  Seřaď hnízda podle Fi
  Vypiš hnízdo s nejlepší Fi
```

4 Řešené problémy

Program, který jsme vytvořili na základě metod popsaných v kapitolách 2 a 3, jsme dále otestovali na těchto problémech:

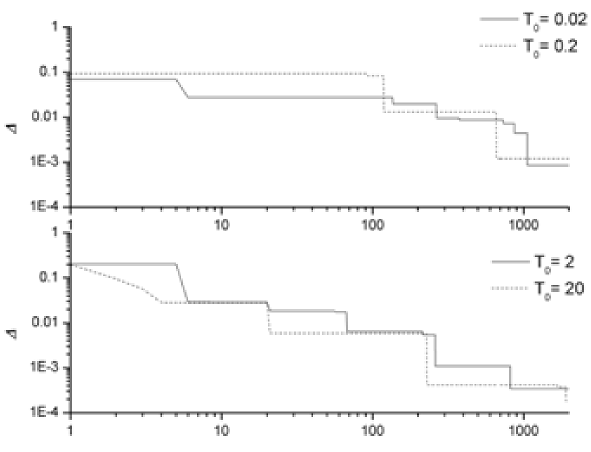
1. Určení nejmenšího možného povrchu kvádru, pokud známe jeho objem
2. Určení největšího možného zisku při určitých podmínkách (lineární programování)
3. Určení vlastností radioaktivního materiálu na základě zadaných dat (nelineární regrese)

4.1 Určení nejmenšího povrchu kvádru, pokud známe jeho objem

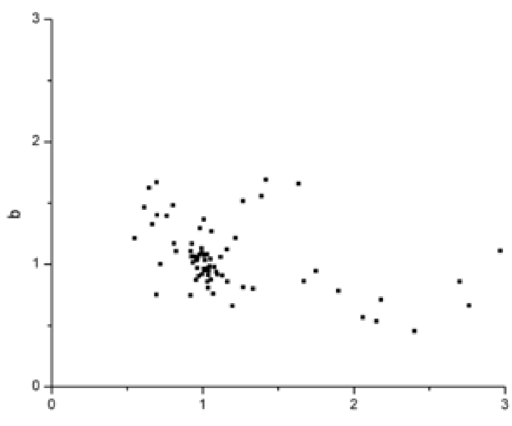
Máme zadán objem V, víme, že V = *a b c*, kde *a*, *b*, *c* jsou strany kvádru. Hledáme co nejmenší hodnotu povrchu *S = 2 (ab + bc + ca)*, která odpovídá V. Uvažujeme tedy funkci *S* = g(*a*, *b*), hodnotu *c* můžeme dopočítat. Řešili jsme pro V = 1.

Tento problém jsme vybrali k otestování funkčnosti algoritmu, protože zde existuje jen jedno minimum, které je snadno dopočitatelné: *a* = *b* = *c* = 1, *P* = 6

Na grafu č. 3 je závislost odchylky nejlepšího hnízda od minima Δ, v závislosti na počtu kroků M (generací), pro jednotlivé délky kroku T_0. Na grafu č.4 je pak graf rozdělení hodnot stran *a* a *b* pro desátou kukačku (jak vidíme z grafu č.1, tak pro první kukačku by u tohoto problému neměl podobný graf smysl – odchylka je od začátku minimální).



Graf 3



Graf 4

Rychlost konvergence k minimu není v tomto problému na kroku T_0 závislá, největší přesnost dávala hodnota T_0 = 2, což je doporučováno literaturou. I desátá kukačka se k minimu v bodě [1;1] přiblížila poměrně rychle.

4.2. Určení největšího možného zisku při určitých podmínkách

Zde simulujeme výrobu zboží. Omezení jsou dána maximální produkcí linek a maximální hodnotou spotřebované energie. Hledáme pak takový poměr mezi množstvím jednotlivých zboží, který povede k největšímu zisku z.

Konkrétně jsme použili tyto rovnice:

$x_1 + x_2 \leq 1000$

$3\, x_1 + x_2 \leq 711$

$z = 2\, x_1 + x_2$

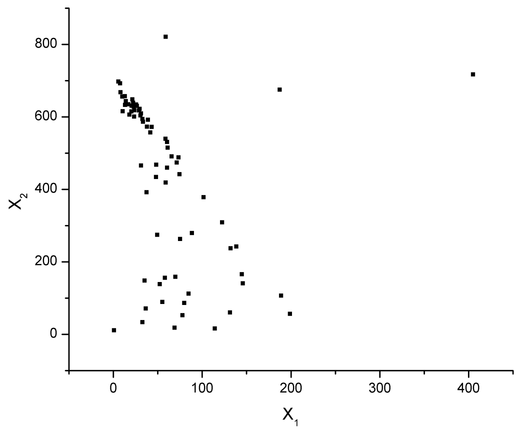
Pokud došlo k přetečení omezujících podmínek, od zisku se odečítala „pokuta“:

$p_1 = \lambda_1 \cdot \max(x_1 + x_2 - 1000, 0)$

$p_2 = \lambda_2 \cdot \max(3\, x_1 + x_2 - 711, 0)$,

kde jsme zvolili konstanty $\lambda_1 = \lambda_2 = 10$.

Program našel optimum pro hodnoty $x_1 = 0$, $x_2 = 711$. Na grafu je opět průběh hledání pro desátou kukačku.



Graf 5

4.3. Určení vlastností radioaktivního materiálu na základě zadaných dat

Vstupem je *B* hodnot radiace *I* v určitých časech *t*. My pak chceme určit klidovou radiaci I_k, poločas rozpadu t_p a počáteční dávka radiace I_0. Z těchto hodnot by pak bylo možno určit o jaký izotop kterého prvku se jedná.

Použili jsme funkci $I = I_k + I_0 + 2^{-t/tp}$. My pak chceme co nejmenší celkovou kvadratickou odchylku I_d vypočtených hodnot radiace $I_v(t)$ od $I(t)$, kdy $I = \sum_{l=0}^{B-1} \left(I_l - I_{v,\,l} \right)^2$.

Pro hodnoty t = (0, 6, 12, 18, 24, 30, 36) a I_k = (73, 61, 55, 52, 50, 51, 49) nám vyšly odpovídající hodnoty $I_k = 50$, $t_p = 6$ $I_0 = 23$, což by datům mělo odpovídat.

5 Závěr

V příspěvku jsou shrnuty základní myšlenky metody CS. V rámci miniprojektu jsme pak tuto metodu implementovali a použili na řešení ilustračních problémů. U všech tří problémů dávala metoda velmi dobré výsledky.

Poděkování

Děkujeme našemu supervizorovi doc. Ing. Jaromíru Kukalovi, Ph.D., za odborné vedení našeho miniprojektu a FJFI ČVUT za organizaci Týdne vědy a poskytnutí prostoru.

Reference:

[1] WALTON, S. – HASSAN, O. – MORGAN, K. – BROWN, M.R.: *Modified cuckoo search: A new gradient free optimisation algorithm* Chaos, Solitons & Fractals 44, 2011

[2] YANG, X.S. – DEB, S.: *Cuckoo Search via Lévy Flights* arXiv, 2010