Zadání semestrální práce z předmětu Evoluční optimalizační algoritmy a nabídka témat.

Zadání a podmínky vypracování SP

- **Zadání**
  1. Implementace lokálního prohledávacího algoritmu
  2. Implementace jednoduchého evolučního algoritmu
  3. Implementace specializovaného EA nebo memetického algoritmu
- **Důležité body návrhu optimalizačních algoritmů**
  - Reprezentace řešení
  - Variační operátory u lokálního prohledávání
  - Operátory křížení a mutace u EA
  - Ohodnocovací funkce
- **Zpracování**
  - Fungující program
  - Závěrečná zpráva
  - Prezentace

Vše musí být odevzdáno ve stanovených termínech!
Pozdní odevzdání bude penalizováno 4 bodovou srážkou za každý započatý týden.

Zpracování SP

- Fungující program
    - Fungující kód pro všechny řešené úlohy.
    - GUI není vyžadováno (ale může být oceněno bonusovými body).
- Závěrečná zpráva
    - musí obsahovat tabulky a grafy se statistickým zhodnocením provedených experimentů na **zadaných testovacích datech**;
    - musí obsahovat **grafy s průběhem mediánu nejlepší fitness v závislosti na počtu ohodnocení**;
    - musí obsahovat grafy s průběhem **mediánu nejlepší hodnoty jednotné ohodnocovací funkce v závislosti na počtu ohodnocení**.
- Prezentace
    - **Společná část** - skupina studentů, řešící stejnou úlohu, vypracuje společně úvodní slajdy představující úlohu a závěrečné slajdy s prezentací výsledků a vzájemným porovnáním přístupů jednotlivých studentů.
    - **Individuální část** – slajdy stručně a srozumitelně popisující zvolenou reprezentaci, operátory a ohodnocovací funkci.

1. Japanese puzzle - nonogram

- **Popis problému**: Nonogram se skládá se ze tří částí:
  - mřížka obdélníkového tvaru *MxN*, do které se má vyplnit obrázek z plných a prázdných políček,
  - dvě legendy (levá a horní). Každému řádku obrázku odpovídá řádek levé legendy, sloupci obrázku odpovídá sloupec horní legendy.

    V řádcích/sloupcích legend jsou uvedeny seznamy celých čísel. Každé číslo odpovídá souvislému bloku plných políček dané délky. Pořadí čísel v legendě určuje pořadí bloků v obrázku.

    Mezi dvěma sousedními bloky v obrázku musí být alespoň jedno prázdné políčko. Na začátku a na konci každého řádku a sloupce se může, ale nemusí, vyskytovat libovolný počet prázdných políček.

  Cílem je vyplnit mřížku plnými políčky tak, aby výsledný obrázek přesně odpovídal všem řádkům a sloupcům legendy.

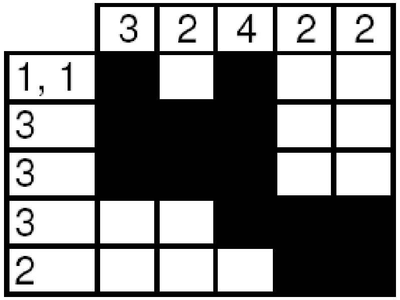
	3	2	4	2	2
1, 1					
3					
3					
3					
2					

http://www.puzzle-nonograms.com/

1. Japanese puzzle - nonogram

- Popis úlohy: Je dána mřížka *MxN* a u každého řádku a sloupce jsou posloupnosti čísel. Ty udávají jak velké souvislé bloky plných políček a v jakém pořadí se v daném sloupci/řádku očekávají.
  Cílem je nalézt konkrétní vyplnění plných políček v mřížce tak, aby všechna omezení byla splněna.

  Proč na to programovat evoluční algoritmus?



	3	2	4	2	2
1, 1	■		■		
3	■	■	■		
3	■	■	■		
3			■	■	■
2				■	■

http://www.puzzle-nonograms.com/

1. Japanese puzzle - nonogram

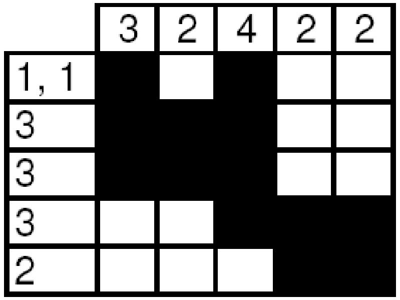
Proto ...

	3 1 3 3 1	3 2 1 2 3 1	2 2 1	2 3 3 1 3 3	2 1 3 4 3	2 2 9	4 3 9	3 2 7 1	2 4 6 1	1 12 1	2 11 3	3 5 2 3 1 3	10 10 1	3 4 17	3 2 4 1 1 14	5 3 6 7	3 12 4 3	1 1 1 3 3 2 6	2 3 7 6	1 1 1 1 6 5	1 1 1 2 5 4	1 9 2 2 3	3 6 2 3 2	2 3 3 6	2 3 4 4	2 1 2 1 9	2 7	1 4 3	2 3 4	2 4 5 3
2 3 2 4 1																														
2 3 1 4 2																														
2 8 3 3																														
3 2 5 2																														
2 2 3 1 1																														
1 1 1 3 1																														
1 1 1 3 1																														
1 4 8 1 2																														
3 6 2 1 2																														
1 1 3 7 8 1																														
2 1 4 6 1																														
2 1 4 4																														
1 5																														
3 1 4																														
3 1 3 4 1																														
2 5 1 4 4																														
15 1 5																														
2 15 4																														
2 2 3 4 6																														
1 6 4 3																														
1 8 11																														
10 2 7																														
2 8 3 1 2 1 1																														
11 5 3																														
11 7 3																														
6 9 3 1																														
2 3 3 4 2 1																														
4 3 9 1																														
5 2 10																														
6 13																														

http://www.puzzle-nonograms.com/

1. Japanese puzzle - nonogram

- **Reprezentace:**
  - Binární vektor nebo binární matice $\{0, 1\}^{M+N}$
  - Sloupcové nebo řádkové bloky.



- **Jednotná ohodnocovací funkce**: Považujme řádkové a sloupcové komponenty legendy za řetězce celých čísel. Stejně tak reprezentace aktuálního stavu řádku a sloupce považujme za řetězce celých čísel. Potom míru shody mezi legendou a daným stavem na řádku/sloupci spočítáme jako podobnost dvou řetězců podle **Needleman-Wunchova algoritmu**.

  Výsledná hodnota shody legendy a konkrétního řádku/sloupce matice je součtem rozdílů hodnot přes všechny dvojice čísel na souhlasných pozicích a penalizací za vložené mezery.

  Celková kvalita řešení se počítá jako součet příspěvků spočítaných **přes všechny řádky a sloupce matice.**

1. Japanese puzzle - nonogram

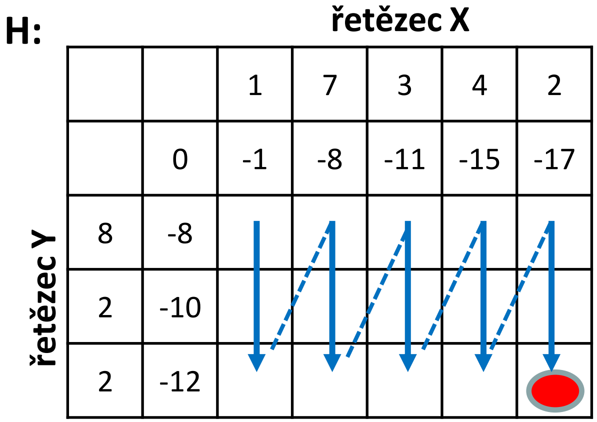
- **Příklad** výpočtu (ne)shody

  legendy (řetězec X): 1 7 3 4 2

  a

  řádku matice (řetězec Y): 8 2 2

  pomocí Needleman-Wunchova algoritmu.



		1	7	3	4	2
	0	-1	-8	-11	-15	-17
8	-8					
2	-10					
2	-12					●

Výpočet spočívá ve vyplnění tabulky shody H, viz obrázek, kde sloupxce reprezentují znaky řetězce X a řádky odpovídají znakům řetězce Y. Začíná se z levého horního políčka, které má hodnotu 0 a vyplňování pokračuje po sloupcích zleva doprava a ve sloupci shora dolů. Hodnota v pravém dolním políčku udává výslednou hodnotu neshody řetězců X a Y.

Parametry Needleman-Wunchova algoritmu jsou:

- **penalizace za mezeru**: -*K*, kde *K* je hodnota znaku, který je na stejné pozici s mezerou.

  Konkrétně, pokud uvažujeme přechod H(i-1, j) -> H(i, j), tedy přechod dolů, tak za tuto vloženou mezeru je penalta rovna záporné hodnotě znaku na řádku 'i'. Pokud uvažujeme přechod H(i, j-1) -> H(i, j), tedy přechod doprava, tak za takto vloženou mezeru je penalizace rovna záporné hodnotě znaku ve sloupci 'j'.
- **Ohodnocení (ne)shody stejnolehlých znaků**: $-|X_j - Y_i|$, kde X_j a Y_i jsou čísla na stejnolehlých pozicích.

1. Japanese puzzle - nonogram

- **Příklad** výpočtu shody

legendy (řetězec X): 1 7 3 4 2

a

řádku matice (řetězec Y): 8 2 2

pomocí Needleman-Wunchova algoritmu.

řetězec X

řetězec Y

		1	7	3	4	2
	0	-1	-8	-11	-15	-17
8	-8	-7	-2	-5	-9	-11
2	-10	-9	-4	-3	-7	-9
2	-12	-11	-6	-5	-5	**-7**

Postup: Vyplň tabulku tak, že hodnota každého políčka se získá podle následujícího pravidla

$$H(i, j) = \max(H(i-1, j)-K_i, H(i, j-1)-K_j, H(i-1, j-1)+Neshoda(i, j)),$$

kde K_i resp. K_j je hodnota i-tého znaku řetězce Y resp. Hodnota j-tého znaku řetězce X.

Neshoda(i,j) = $-(|X_j - Y_i|)$.

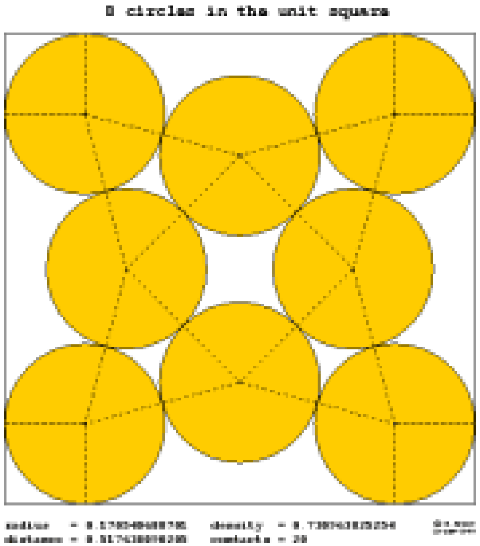
Výsledná hodnota je -7. Tomu odpovídá několik řešení, například

legenda (řetězec X): 1 7 3 4 2
řádku matice (řetězec Y): - 8 - 2 2

nebo

legenda (řetězec X): 1 7 3 4 2
řádku matice (řetězec Y): - 8 2 2 -

2. Kruhy ve čtverci

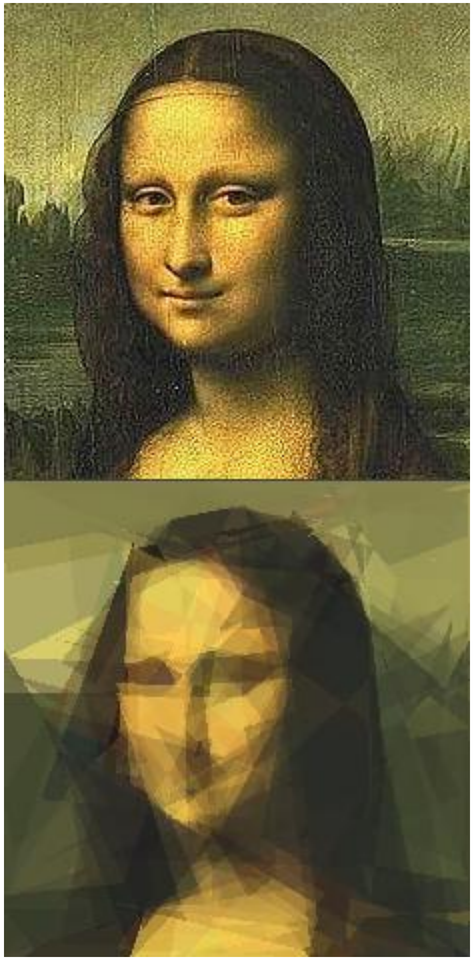


www.packomania.com

- **Popis problému**: Je dána čtvercová plocha o straně délky 1.
  Cílem je umístit na tuto plochu *N* stejně velkých kruhů s maximálním poloměrem *r* tak, aby se žádné dva nepřekrývaly a žádný nevyčníval vně této plochy.
  Vstup: Hodnota parametru *N*.
  Výstup: Poloměr *r* a souřadnice středů kruhů.
- **Reprezentace**: Seznam souřadnic středů kruhů, tedy seznam dvojic $[x_i, y_i]$ pro i=1...*N*; poloměr *r* se z toho dopočítá.
- **Jednotná ohodnocovací funkce**: Kvalita řešení se počítá jako největší možný poloměr kruhů pro danou konfiguraci středů.
  Tato funkce je maximalizována.

3. Ztrátová komprese obrázku

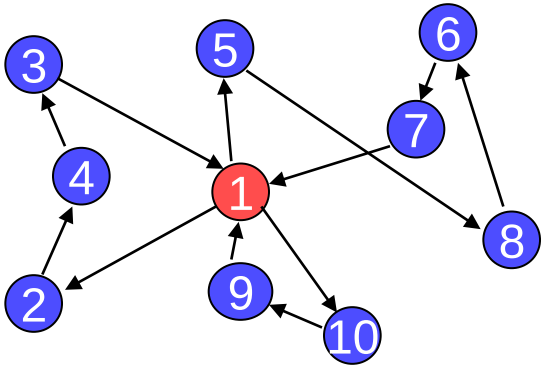
- **Popis úlohy**: Uvažujme obrázek v bitmapovém formátu – může být černobílý i barevný. Cílem je pro zvolenou reprezentaci – překrývající se poloprůhledné polygony, elipsy, nebo kružnice – navrhnout optimalizační algoritmus, který minimalizuje odchylku mezi původním obrazem a jeho komprimovanou formou.
- **Jednotná ohodnocovací funkce**: Kvalita komprese se počítá jako celková odchylka přes všechny pixely a složky jasu (RGB).
- **Možné typy reprezentace**
    - Poloprůhledné n-úhelníky, kruhy nebo elipsy, které se překrývají – intenzita jasu se sčítá.
      Poloprůhledné kruhy nebo elipsy, které se překrývají.
    - Hladká funkce intenzity pro každou složku RGB.
      Funkce $I_R(x,y)$, $I_G(x,y)$, $I_B(x,y)$.
    - Oblasti oddělené pomocí Voronoiova diagramu.



Sean Luke. 2009. *Essentials of Metaheuristics*.
http://cs.gmu.edu/~sean/book/metaheuristics/

4. TSP s více cestujícími

- **Popis problému**: Na vstupu je úplný neorientovaný graf o *N* uzlech. Cílem je nalézt takovou množinu cest pro *M* cestujících, které všechny vychází z počátečního uzlu (depotu) a zase v něm končí, všechny uzly (kromě depotu) jsou navštíveny právě jednou a délka nejdelší cesty je minimální. Žádná z cest nesmí mít nulovou délku.



- **Reprezentace**: [permutace měst][break-pointy]

  příklad: [2-4-3-5-8-6-7-10-9][3,7]

- **Jednotná ohodnocovací funkce**: Kvalita řešení je určena jako délka nejdelší cesty z *M* cest.

5. CD kompilace

- **Popis problému**: Rocková skupina XY chce na sklonku kariéry vydat soubornou kompilaci všech svých vypalovaček. Problém je, jak skladby optimálně rozvrhnout na co nejmenší počet CD nosičů stejné kapacity *C*.

  Cílem je vměstnat všechny skladby na co nejmenší počet disků. V případě shody mezi dvěma a více řešeními se stejným počtem disků vybereme to, které má minimální největší nezaplněné místo na částěčně zaplněných discích.

  Vstup: *N* skladeb, každá skladba má svoji délku v sekundách.
  Jednotná kapacita disků *C*.

  Výstup: Počet použitých disků *M*, na kterých jsou uloženy všechny požadované skladby včetně údaje o maximálním volném místě na nejméně zaplněném disku.

- **Reprezentace**:
  - Seznam lineárních řetězců celých čísel, kde každý řetězec reprezentuje jeden disk a čísla v řetězci udávají identifikátory skladeb.
  - Dva seznamy – seznam (permutace) skladeb, seznam rozdělujících bodů (pozice v rámci seznamu skladeb, které vymezují jednotlivé disky).
    [permutace skladeb][break-pointy]

5. CD kompilace

- **Jednotná ohodnocovací funkce:** Celková zaplněnost disků

$$f(s) = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^{M} (z_i / C)^2}{M} \right)$$

kde z_i je zaplněnost i-tého CD.

Tato funkce je minimalizována.

6. Hledání nejkratší společné supersekvence

- **Popis problému**: Je dána množina řetezců znaků dané abecedy. Cílem je nalézt takovou posloupnost znaků dané abecedy (supersekvenci), že všechny původní řetezce jsou v ní zcela obsažené. Řetězec *r* je obsažen v supersekvenci *S* právě tehdy když všechny znaky řetězce *r* jsou přítomny v supersekvenci *S* a to v pořadí, v jakém se vyskytují v *r*.

  Vstup: Abeceda *A*, ze které jsou tvořeny řetězce.

  N řetězců (ne nutně stejné délky).

  Výstup: Supersekvence *S* splňující výše uvedenou vlastnost.

- **Reprezentace**: Lineární řetězec znaků dané abecedy.

Př.:

s_1: `ca ag cca  cc ta    cat  c a`

s_2: `c gag ccat ccgtaaa g  tt  g`

s_3: ` aga acc tgc  taaatgc t a ga`

Supersequence *S*: cagagaccatgccgtaaatgcattacga

6. Hledání nejkratší společné supersekvence

- **Jednotná ohodnocovací funkce:** Kvalita supersekvence S je počítáná podle ohodnocovací funkce

  $$f(S) = C(S) + L(S),$$

  kde $C(S)$ je celkový počet znaků, které S pokrývá a $L(S)$ je příspěvek za délku supersekvence počítaný jako

  $$L(S) = (SumL - Length(S)) / SumL.$$

  SumL je součet všech znaků ve vstupních řetězcích.

  Tato funkce je maximalizována.

7. Sestavování žebříčku ATP

- **Popis problému**: Máme bilanci výsledků vzájemných zápasů tenistů na okruhu ATP. Data jsou uložena v matici ***B***, kde hodnotu na pozici [*i*, *j*] může vyjadřovat absolutní nebo relativní bilanci mezi hráči *i* a *j*:
  - *I.* $b_{ij} = n$; hráč *i* v sezoně *n*-krát zvítězil nad hráčem *j*
  - *II.* $b_{ij} = 1$; hráč *i* má pozitivní bilanci s hráčem *j*
$b_{ij} = 0$; hráč *i* má negativní bilanci s hráčem *j*
- **Reprezentace**: Lineární sekvence (permutace) hráčů.
- **Jednotná ohodnocovací funkce.** Kvalita daného žebříčku hráčů (permutace hráčů, π) se počítá pomocí následující funkce

$$f(\pi) = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^{N} B_{\pi(i)\pi(j)}$$

Tato funkce je maximalizována.

8. Binární optimalizační problém

- **Popis problému**: Prostor řešení jsou všechny binární řetězce délky *N*, $\vec{y} = \{-1,1\}^N$ Cílem je nalézt takový binární řetězec, který maximalizuje ohodnocovací funkci, viz níže.
- **Reprezentace**: Řetězec délky *N*, {-1, +1}^{N}.
- **Jednotná ohodnocovací funkce.** Kvalita řešení se počítá podle vztahu

$$f(\vec{y}) = \frac{n^2}{2 \cdot E(\vec{y})}$$

kde

$$E(\vec{y}) = \sum_{k=1}^{N-1} \left(\sum_{i=1}^{N-k} y_i \cdot y_{i+k} \right)^2 .$$

Funkce $f(\vec{y})$ je maximalizována.