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

Zadání a podmínky vypracování SP

- **Zadání**
  I. Implementace lokálního prohledávacího algoritmu
  II. Implementace jednoduchého evolučního algoritmu
  III. 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 2 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 *M*x*N*, 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.

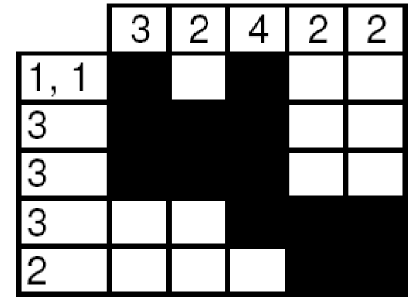
	3	2	4	2	2
1, 1					
3					
3					
3					
2					

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

1. Japanese puzzle - nonogram

- Popis úlohy: Je dána mřížka *M*x*N* 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?



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

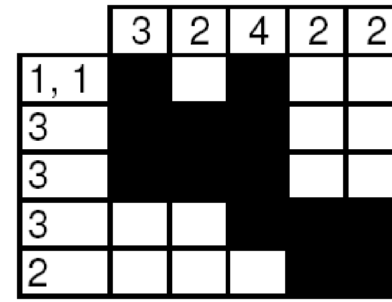
http://www.puzzle-nonograms.com/

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.

  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.

H:

řetězec X

řetězec Y

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

  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 $H(i\text{-}1, j) \rightarrow H(i, j)$, tedy přechod dolů, tak za tuto vloženou mezeru je penalta rovna záporné hodnotě znaku na řádku i. Pokud uvažujeme přechod $H(i, j\text{-}1) \rightarrow H(i, j)$, 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.

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

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**

$$H(i, j) = \max(H(i\text{-}1, j)\text{-}K_i,\ H(i, j\text{-}1)\text{-}K_j,\ H(i\text{-}1, j\text{-}1) + neshoda(i, j)),$$

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

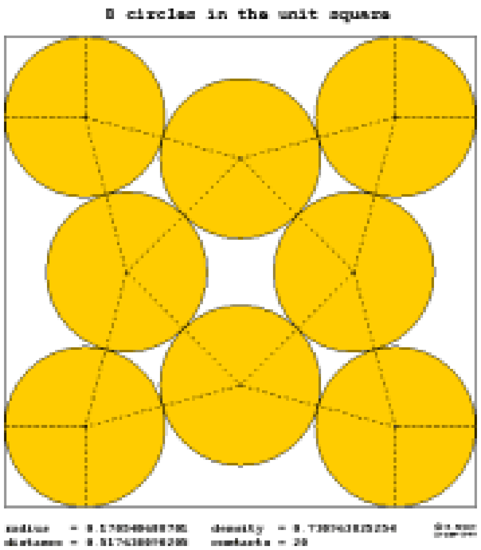
legenda (řetězec X): 1 7 3 4 2
řádku matice (řetězec Y): - 8 2 2 -

2. Kruhy ve čtverci

- **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.



www.packomania.com

3. Ztrátová komprese obrázku

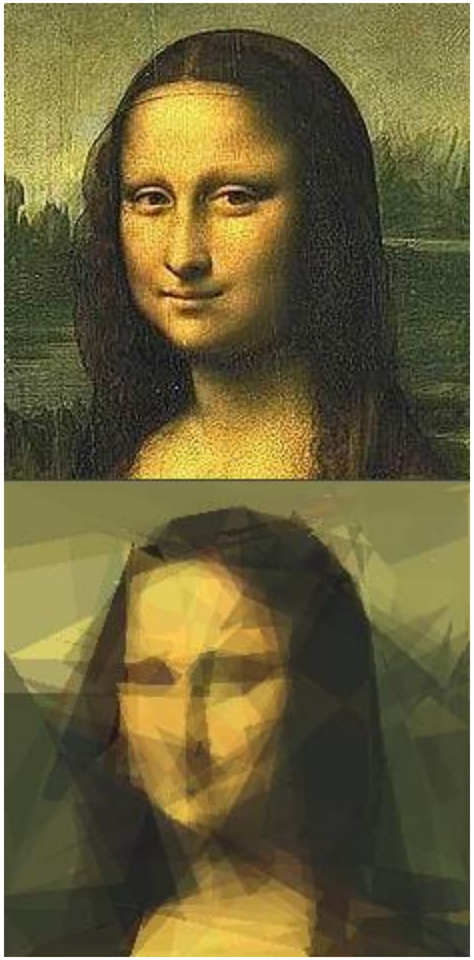
- **Popis úlohy**: Uvažujme obrázek v bitmapovém formátu – může být černobílý i barevný.
  Cílem je pro zvolenou reprezentaci, tj. překrývající se polo- nebo neprůhledné polygony, elipsy, nebo kružnice, nalézt komprimovanou formu obrazu, která má minimální odchylku od původního obrazu.

  Vstup: Počet a typ základních primitiv.

  Výstup: Transformovaný obraz.

- **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.
    Neprůhledné 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. Warehouse Location

- **Popis problému**: Distribuční firma obsluhuje skupinu geograficky rozptýlených zákazníků z nichž každý požaduje jisté množství odebíraného zboží. Firma má k dispozici několik možných lokací pro sklady svého zboží, každý sklad má svoji kapacitu.
  Cílem je přiřadit zákazníky ke skladům tak, aby bylo dosaženo maximálně efektivního obsloužení všech zákazníků.

  Vstup:
  - N skladů, každý sklad w má svoji kapacitu cap_w a zřizovací cenu s_w,
  - M zákazníků, každý zákazník c požaduje jiné množství zboží d_c,
  - Pro každou dvojici $<c,w>$ je definována cena, t_{cw}, za doručení zboží ze skladu w k zákazníkovi c.

  Výstup: Přiřazení zákazníků ke skladům tak, aby byla minimalizována **jednotná ohodnocovací funkce**

$$f(x) = \sum_{w \in N} \left(\left(|a_w| > 0 \right) s_w + \sum_{c \in a_w} t_{cw} \right)$$

  za podmínek $\sum_{c \in a_w} d_c \leq cap_w$ a $\sum_{w \in N} \left(c \in a_w \right) = 1$ pro všechny $w \in N$ a $c \in M$

  kde a_w je množina zákazníků přiřazených ke skladu w.

4. Warehouse Location

- **Reprezentace**:
  - pole o velikosti M, kde i-tá hodnota reprezentuje číslo skladu přiřazené i-tému zákazníkovi,
  - matice $A[M\text{x}N]$, kde $A_{cw} \in \{0, 1\}$

    A_{cw} = 1, když je zákazník c přiřazen ke skladu w

    = 0, jinak.

5. 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.:

```
s1:  ca ag cca  cc ta    cat  c a
s2:  c gag ccat ccgtaaa g  tt  g
s3:   aga acc tgc  taaatgc t a ga
------------------------------------
Supersequence S:  cagagaccatgccgtaaatgcattacga
```

5. Hledání nejkratší společné supersekvence

- **Jednotná ohodnocovací funkce:** Kvalita supersekvence *S* je počítána 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.

6. 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*:
  1. $b_{ij} = n$; hráč *i* v sezoně *n*-krát zvítězil nad hráčem *j*
  2. $b_{ij} = 1$; 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.

7. Rozděl a panuj!

- **Popis problému**: Jste správci rozlohou velké oblasti s množstvím měst s hustou sítí silnic. Každodenní správcovské povinnosti už vás ale nebaví a chtěli byste práci delegovat na několik svých zástupců. Je proto třeba rozdělit celé panství na několik stejně velkých regionů, každý z nich bude řídit jeden zástupce.
  Cílem je najít rozdělení původní oblasti na maximálně autonomní regiony tj. s minimálním propojením mezi regiony.

  Vstup: Graf $G(V, E)$, kde V je množina měst $\{v_1,\dots,v_M\}$ a E je množina silnic spojující města.

  Výstup: Rozdělení množiny V na vzájemně disjunktní podmnožiny $V_1, \dots, V_n$,

  kde $\bigcup_{i=1}^{n} V_i = V$ a $\left| |V_i| - |V_j| \right| \leq 1$ pro všechny $i \neq j$.

- **Reprezentace**: Pole velikosti M, kde i-tá pozice obsahuje číslo regionu, do kterého i-té město patří.

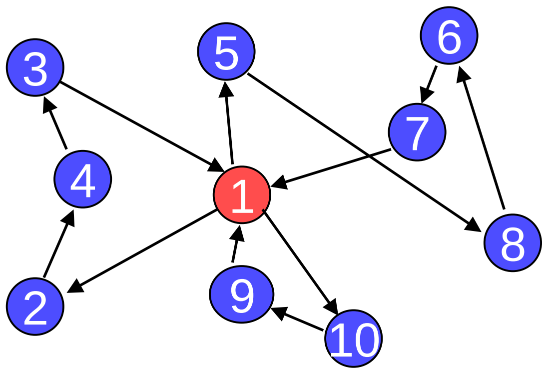
- **Jednotná ohodnocovací funkce:** Počet cest mezi městy z jiného regionu.

$$f(x) = \sum_{l \in V_i, k \in V_j, i \neq j} e_{lk}$$

  Tato funkce je minimalizována.

8. 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.

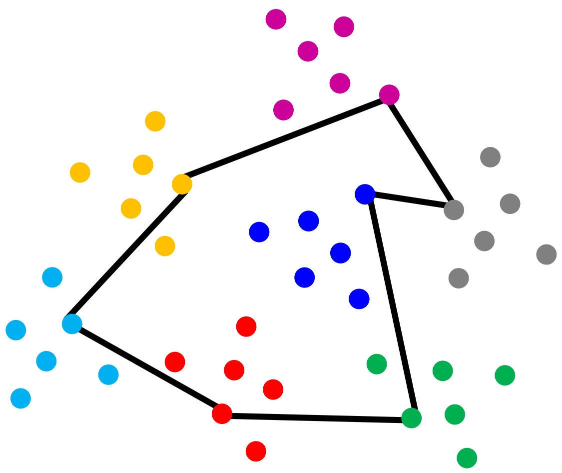


- **Reprezentace**: [permutace měst][break-pointy]

  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.

9. Zobecněný TSP

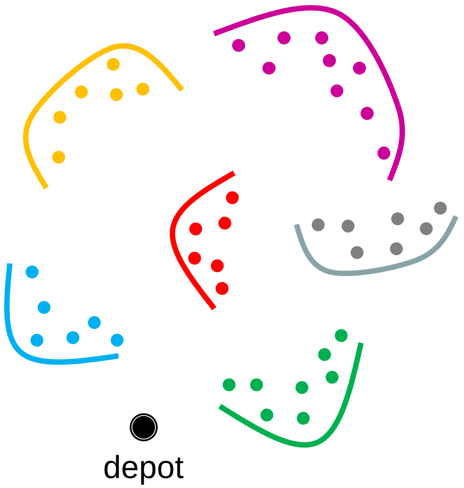


- **Popis problému**: Na vstupu je úplný neorientovaný graf o *N* uzlech, rozdělených do *M* tříd.
  Cílem je nalézt uzavřenou cestu, která obsahuje právě jeden uzel z každé třídy a jejíž délka je nejkratší.
- **Reprezentace**: permutace *M* měst
- **Jednotná ohodnocovací funkce**: Kvalita řešení je určena jako délka cesty.

Poznámka: Každá skupina je v řešení zastoupena právě jedním uzlem; do každého uzlu vedou právě dvě hrany.

10. Problém optimální explorace prostředí

- **Popis problému**: Je dána mapa prostředí, na které je *M* objektů zájmu, tzv. segmenty. Každý segment můžeme považovat za souvislou křivku.
  Dále máme úplný neorientovaný graf o *N* uzlech, rozdělených do *M* tříd. Každá třída reprezentuje uzly, které patří jednomu segmentu.
  Každý uzel „vidí" jednu nebo více souvislých částí svého segmentu. Jeden uzel je výchozí, tzv. depot.



  Cílem je nalézt cestu, která prochází podmnožinou uzlů tak, že všechny segmenty jsou úplně pokryty a délka cesty je minimální. Segment je pokryt právě tehdy, když je jakýkoliv jeho bod „vidět" alespoň z jednoho uzlu na cestě.
  Pozor: Hledáme neuzavřenou cestu.
- **Reprezentace**: posloupnost *K* uzlů, kde $K \leq M$.
- **Jednotná ohodnocovací funkce**: Kvalita řešení je určena jako délka cesty.