České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

Algoritmy v digitální kartografii

Úloha č. 4: Množinové operace s polygony

Skupina:

Sabina Kličková

Martin Vajner

Zimní semestr 2021/2022

I. Obsah

1. Zadání

Vstup: množina n polygonů P={P1, ..., Pn}.

Výstup: množina m polygonů P 0 = {P 0 1 , ..., P0 m}.

S využitím algoritmu pro množinové operace s polygony implementujte pro libovolné dva polygony Pi , Pj ∈ P následující operace:

- Průnik polygonů Pi ∩ Pj ,
- Sjednocení polygonů Pi ∪ Pj ,
- Rozdíl polygonů: Pi ∩ Pj , resp. Pj ∩ Pi .

Jako vstupní data použijte existující kartografická data (např. konvertované shape fily) či syntetická data, která budou načítána z textového souboru ve Vámi zvoleném formátu. Grafické rozhraní realizujte s využitím frameworku QT. Při zpracování se snažte postihnout nejčastější singulární případy: společný vrchol, společná část segmentu, společný celý segment či více společných segmentů. Ošetřete situace, kdy výsledkem není 2D entita, ale 0D či 1D entita. Pro výše uvedené účely je nutné mít řádně odladěny algoritmy z úlohy 1. Postup ošetření těchto případů diskutujte v technické zprávě, zamyslete se nad dalšími singularitami, které mohou nastat.

Množinové operace, průnik, sjednocení, rozdíl	+20b

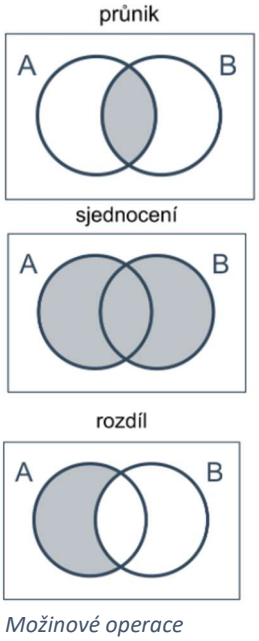
2. Bonusové úlohy

V této úloze nebyly zpracovány žádné bonusové úlohy:

3. Popis a rozbor problémů

Existují-li dva polygony Pi,Pj, je třeba zjistit jejich vzájemnou polohu. K tomu se použijí následující množinové operace:

- Průnik Pi ∩ Pj ,
- Sjednocení Pi ∪ Pj ,
- Rozdíl p: Pi ∩ Pj , resp. Pj ∩ Pi .



Možinové operace

Popis jednotlivých operací:

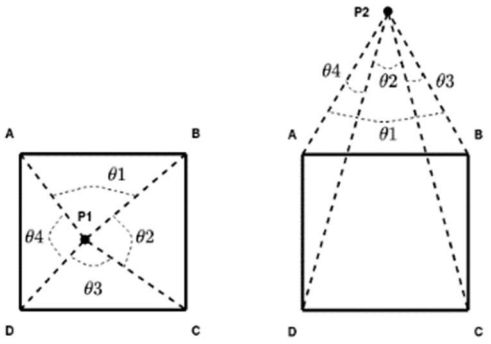
- **Průnik:** Výsledkem operace je množina, která obsahuje pouze prvky, které se nachází v obou množinách zároveň.
- **Sjednocení:** Výsledkem operace je množina, která obsahuje všechny prvky, nacházející se alespoň v jedné z množin, se kterými pracujeme.
- **Rozdíl:** Výsledkem operace je množina, která obsahuje prvky nacházející se v jedné množině, ale nenacházející se v te druhé.

4. Popisy algoritmů

I. Winding Number

Algoritmus Winding Number je definován jako počet rotací křivky, či v našem případě polygonu, v jednom směru okolo daného bodu q. Výpočet je založen na zjištění hodnot úhlů ω mezi daným bodem q a body polygonu a na poloze bodu q vůči segmentu polygonu. Pro všechny segmenty je třeba zjistit, jestli se bod nachází nalevo, či napravo. Pokud jsou nalevo, tak se úhly přičítají, pokud napravo tak se odečítají. Toto platí pro směr ccv (counter clockwise). Pro opačný směr se znaménka prohodí. Pokud se suma všech úhlů nerovná 0, leží bod uvnitř a pokud je suma rovna 0, leží bod mimo polygon. (1)

Princip algoritmu:



Princip Winding Number algoritmu

a. Inicializuj $\Omega=0$, tolerance ε.
b. Opakuj pro Υ trojici (p_i, q_i, p_{i+1})
   Urči polohu q vzhledem k $p = (p_i, p_{i+1})$
   Urči úhel $\omega_i = \angle p_i, q_i, p_{i+1}$
   If $q \in \bar{\sigma}_i$, pak $\Omega = \Omega + \omega_i$ //Bod v levé polorovině
   Else $\Omega = \Omega$ - ω_i //Bod v pravé polorovině
c. If $||\omega|-2\pi| < \varepsilon$, pak $q \in P$
d. $Else\ q \notin P$

II. Výpočet průsečíku polygonů A,B

Algoritmus slouží k výpočtu polohy průsečiku hran polygonů. Ty jsou ukládány společně s hodnotami α,β, které určují polohu a hodnotu danou průsečákem. S každým dalším nalezeým bodem je seznam aktualizován a řazen podle hodnot α,β. Poledním krokem je implementace algoritmu Winding number, který určuje vzájemnou polohu vrcholů polygonů.

Princip algoritmu:

a. for(i=0; i<n; i++)
   a. Vytvoření mapy: M=map(double,QPointFBO)
   b. for(j=0; j<m; j++)
      i. Pokud existuje průsečík: $if\ (b_{ij} = (p_i, p_{(i+1)\%m}) \cap (q_i, q_{(i+1)\%m}) \neq 0)$
      ii. Přidání do mapy M: $M[\propto_i] < -b_{ij}$
      iii. Zpracování prvního průsečíku pro e_j:processIntersection(b_{ij}, β, B, j
b. Pokud jsou nalezeny nějaké průsečíky: if($\|M\| > 0$)
   a. Procházení všech průsečíků v mapě: for($\forall m \epsilon M$):

i. Získání 2. hodnoty páru: b<-m.druhá

ii. Zpracování aktuálního průsečíku pro e_i: $processIntersection($b, \propto, A, i$)

processIntersection:

a. Jestliže ϵ je minimální hodnota: if($|t| > \epsilon \; AND \; |t-1| > \epsilon$)

   a. Inkrementace pozice: i<-i+1

   b. Přidání průsečíku na pozici i+1: P<-(b,i)

III. Ohodnocení hran

Pro ohodnocení hran byl vytvořen algoritmus setEdgePositions. Rozdeluje pozice středů hran ku polygonu na vnitřní či vnější.

a. for(i=0; i<n; i++) n..počet vrcholů prvního polygonu

b. Určení středu hrany $M(x_m, y_m)$:

   a. $x_m = \frac{x_i + x_{i+1}}{2}$

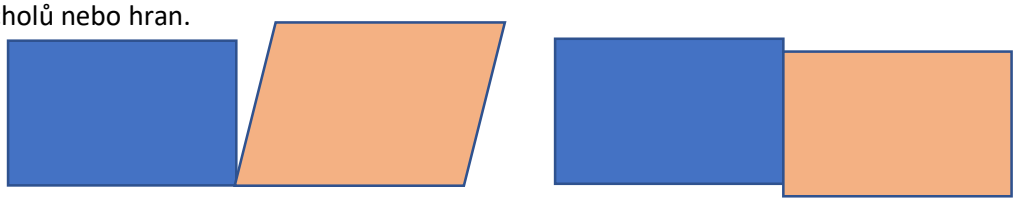
   b. $y_m = \frac{y_i + y_{i+1}}{2}$

   c. Určení pozice: pos=GetPositionWinding(M,B)

   d. Úprava pozice A(i)<- pos

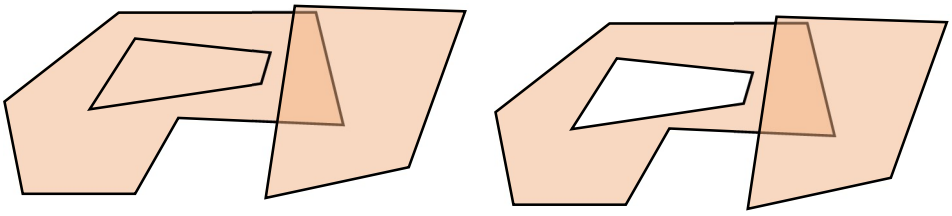
5. Problematické situace

Problematickou situací je stav, kdy dva vstupní polygony mají právě jeden/jednu, čí více společných vrcholů nebo hran.



Ukázka problematické situace

Další problematickou situací mohou být nekonvexní polygony s „otvorem“. U těch může docházek k chybnému vyhodnocení množinových operací. Výsledek napravo je ten správný. Naše aplikace není schopna tento problém ovšem řešit, jelikož tato bonusová úloha nebyla řešena.



Ukázka problematické situace

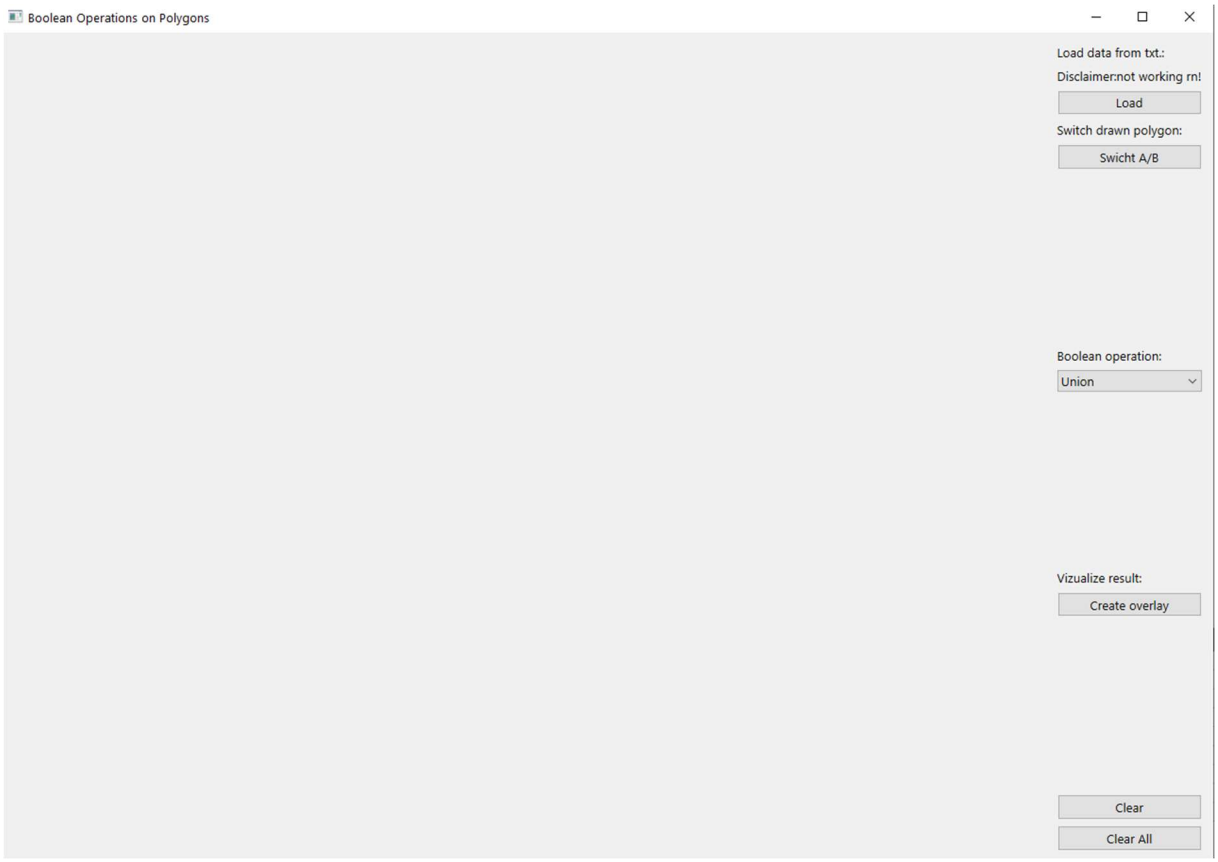
6. Vstupní data, formát vstupních dat, popis.

Vstupní data jsou načítána ve formátu txt. Data obsahují id bodu a vrcholy polygonů dané souřadnicemi x a y. Data jsou do programu načítána pomocí tlačítka Load File v grafickém okně.

Formát vstupních dat: x >> y >> id

7. Výstupní data, formát výstupních dat, popis

Výstupem je aplikace, která dokáže nad nakreslenými daty spočítat množinové operace a ty následně vizuálně zobrazit. Obsahuje tlačítko Switch pro změnu kreslení polygonu A/B, tlačítko pro výběr množinové operace, tlačítko pro vizuální zobrazení výsledku a dvě tlačítka na smazání obsahu okna a smazání všech hodnot proměnných.



Okno aplikace po spuštění

Okno aplikace po načtení dat

Okno aplikace po vizualizaci množinové operace

8. Dokumentaci: popis tříd, datových položek a jednotlivých metod

```
class Algorithms
    TPointLinePosition getPointLinePosition(QPointFBO &a,QPointFBO &p1,QPointFBO &p2);
```
- zjištění vzájemné polohy bodu a přímky

```
    double get2LinesAngle(QPointFBO &p1, QPointFBO &p2, QPointFBO &p3, QPointFBO &p4);
```
- zjištění hodnoty úhlu mezi dvěma přímkami

```
    TPointPolygonPosition getPositionWinding(QPointFBO &q, TPolygon &pol);
```
- zjištění polohy bodu ku polygonu

```
    std::tuple<QPointFBO,T2LinesPosition> get2LinesIntersection(QPointFBO &p1, QPointFBO &p2,
QPointFBO&p3, QPointFBO &p4);
```
- nalezení průsečíku přímek

```
    void updatePolygons(TPolygon &A, TPolygon &B);
```
- aktualizace polygonů novým průsečíkem

```
    void processIntersection(QPointFBO &b, double t, int &index, TPolygon &P);
```
- vložení společných bodů

```
    void setEdgePositions(TPolygon &A, TPolygon &B);
```
- nastavení pozice hrany ku polygonu

```
    void selectEdges(TPolygon &P, TPointPolygonPosition pos, TEdges &edges);
```
- výběr hran

```
TEdges createOverlay(TPolygon &A, TPolygon &B, TBooleanOperation &op);
```
- vytvoření vrstvy polygonů podle zvolené množinové operace

```
class Draw
private:
    TPolygon A, B;
```
- zhodnocované polygony

```
    TEdges res;
```
- vybrané hrany

```
    bool addA;
```
- změna kreslení polygonu A/B

```
public:
    void paintEvent(QPaintEvent *event);
```
- vykreslování na plátno

```
    void mousePressEvent(QMouseEvent *event);
```
- metoda pro vyhodnocování kliknutí na myši

```
    void switchSource(){addA = !addA;}
```
- změna vykresllování polygonů A/B

```
    void drawPolygon(TPolygon &pol, QPainter &qp);
```
- vykreslování polygonů

```
    TPolygon getA(){return A;}
```
- získání polygonu A

```
    TPolygon getB(){return B;}
```
- získání polygonu B

```
    void setEdges(TEdges &edg){res = edg;}
```
-nastavení hran

```
    void clear(){res.clear();}
```
- Smazání vykreslovacího okna

```
    void clearAll(){A.clear(); B.clear(); res.clear();}
```
- Smazání všech proměnných a okna

```
    void loadFile(std::string &path);
```
- Načtení souřadnicového textového souboru

```
class Edge
private:
   QPointFBO start, end;
```
- počáteční a koncový bod hrany
```
public:
   void setStart(QPointFBO &start_){start=start_;}
```
- nastavení počátku hrany
```
   void setEnd(QPointFBO &end_){end=end_;}
```
- nastavení konce hrany
```
   QPointFBO getStart(){return start;}
```
- získání počátku hrany
```
   QPointFBO getEnd(){return end;}
```
- získání konce hrany

```
class QPointFBO
private:
   double alpha, beta;
```
- hodnoty průsečíku hran
```
   TPointPolygonPosition pos;
```
- poloha bodu ku polygonu
```
public:
   double getAlpha(){return alpha;}
```
- získání hodnoty alfa
```
   double getBeta(){return beta;}
```
- získání hodnoty beta
```
   TPointPolygonPosition getPosition(){return pos;}
```
- získání polohy bodu ku polygonu
```
   void setAlpha(double alpha_){alpha=alpha_;}
```
- nastavení hodnoty alfa
```
   void setBeta(double beta_){beta=beta_;}
```
- nastavení hodnoty beta
```
   void setPosition(TPointPolygonPosition pos_){pos=pos_;}
```
- nastavení polohy bodu ku plygonu

```
class Types
typedef enum{
   LeftHP,
   RightHP,
   On
} TPointLinePosition;
```
- pozice bodu ku hraně

```
typedef enum{
   Inner,
   Outer,
   Boundary
} TPointPolygonPosition;
```
- pozice bodu ku polygonu

```
typedef enum {
   Union,
   Intersection,
   DifferenceA_B,
   DifferenceB_A
} TBooleanOperation;
```
- definice množinové operace

```
typedef enum{
   Colinear,
   Parallel,
   Intersect,
   NonIntersect
} T2LinesPosition;
```

- pozice dvou linií vůči sobe
-

```
typedef std::vector<QPointFBO> TPolygon;
```

- definice polygonu tvořeného z bodů QPointFBO

```
typedef  std::vector<Edge> TEdges;
```

- definice hran

9. Závěr

Námi vytvořená aplikace dokáže zhodnotit vzájemnou polohu dvou polygonů Pi, Pj pomocí základních množinových operací. Dokáže pracovat s polygony vytvořenými ručně. Výsledek množinové operace je zvýrazněn červenou barvou.

10. Náměty na vylepšení

V aplikaci se bohužel nepodařilo zprovoznit načítání dat ze souboru. Data se načtou do požadovaných proměnných A,B ale poté se už nevykreslí. Vzhledem k malé dotaci času během zkouškového období nebylo věnováno řešení tohoto problému více času.

11. Citovaná literatura

1. **Tomáš, Bayer.** Perslonal page of Bayer Tomas. *Charles University of Prague.* [Online] [Citace: 05. 12 2021.] https://web.natur.cuni.cz/~bayertom/index.php/teaching/algoritmy-v-digitalni-kartografii.

12. Seznam obrázků

V Praze dne 10.1.2022