155ADKG: GEOMETRICKÉ VYHLEDÁVÁNÍ BODU

V Praze 23.10.2018

Michael Kala, Anna Zemánková

1. Zadání

Navrhněte aplikaci s grafickým rozhraním, která určí polohu bodu vůči souvislé polygonové mapě. (Toto zadání nevyžaduje bližší specifikaci).

2. Údaje o bonusových úlohách

V rámci této úlohy byly zpracovány následující bonusy:

1) Ošetření singulárního případu u Winding algorithm: bod leží na hraně polygonu.
2) Ošetření singulárního případu u obou algoritmů: bod je totožný s vrcholem jednoho či více polygonů.
3) Zvýraznění všech polygonů pro oba výše uvedené singulární případy.

3. Popis a rozbor

Mějme v rovině bod q a polygony P_j tvořené vrcholy p_i. Polygony tvoří souvislou mapu. Naším úkolem je určit polohu bodu q vůči polygonové mapě.

Problematika vzájemné polohy bodu a souvislé polygonové mapy byla převedena na problém vzájemné polohy bodu a jednoho polygonu – je postupně určována poloha bodu vůči jednotlivým polygonům mapy (je-li nalezen polygon uvnitř, kterého bod leží, je analýza ukončena) a teprve poté rozhodnuto o vzájemné poloze v rámci celé mapy.

Možné varianty výsledků:

1) Bod $q \in P_j \rightarrow$ bod je uvnitř polygonu
2) Bod $q \notin P_j \rightarrow$ bod vně polygonu
3) Bod $q \in \sigma_{Pj} \rightarrow$ bod leží na hraně polygonu/společné hraně více polygonů
4) Bod $q = p_i \rightarrow$ bod q je totožný s vrcholem polygonu/společným vrcholem polygonů

Pro svou jednoduchost byly pro určení polohy bodu vůči polygonu vybrány algoritmy Ray crossing algorithm a Winding algorithm.

4. Popis algoritmů

4.1 Ray Crossing algorithm

Mějme v rovině bod q a polygon P_j tvořený vrcholy p_i.

Bodem q jsou vedeny polopřímky libovolným směrem. Každá polopřímka n-krát protne hrany polygonu Pj. Jestliže je n:

1) Liché → bod q ∈ P_j
2) Sudé → Bod q ∉ P_j

Je třeba ošetřit případy, kdy je přímka vedená bodem q kolineární s hranou polygonu nebo je bod q totožný s vrcholem polygonu/leží na hraně polygonu. Více v kapitole 5.

4.2 Winding algorithm

Mějme v rovině bod q a polygon P_j tvořený vrcholy p_i.

Určíme úhly ω_i (p_i,q,p_{i+1}).

$$\cos \omega_i = \frac{\vec{u}_i * \vec{v}_i}{||\vec{u}_i|| * ||\vec{v}_i||} \; ; \; kde \; \vec{u}_i = (q, p_i), \; \vec{v}_i = (q, \; p_{i+1})$$

Pokud je úhel orientován proti směru hodinových ručiček, má kladné znaménko, pokud je orientován po směru hodinových ručiček, znaménko je záporné. Nakonec je určena suma všech úhlů.

Je-li $\sum \omega_i$ rovna:

1) 360° - Bod q ∈ P_j
2) 0° - Bod q ∉ P_j
3) Jinak - Bod q ∈ σ_{Pj} nebo Bod q = p_i

5. Problematické situace

Ray Crossing algorithm

Je-li polopřímka vedená bodem q kolineární s hranou polygonu, dochází k tomu, že počet průsečíků polopřímky s hranou polygonu je sudý, přestože je bod q uvnitř polygonu a naopak.

Aby ke kolizi nedocházelo, je a zaveden místní souřadnicový systém tak, že:

1) Počátek soustavy je vložen do bodu q
2) Osa x‘ je rovnoběžná s osou x
3) Osa y‘ je kolmá na osu x‘

a řešení omezeno pouze na hrany polygonu, jejichž jeden bod leží “pod“ osou x‘ a druhý “nad“ osou x‘.

Pro ošetření případu, kdy je bod q totožný s vrcholem polygonu nebo leží na hraně polygonu, je určena délka hrany polygonu a poté součet vzdáleností mezi bodem q a vrcholy hrany. Pokud jsou tyto vzdálenosti totožné, leží bod na hraně polygonu, nebo je totožný s vrcholem polygonu.

6. Vstupní data

6.1 polygonová mapa

Polygonová mapa je importována formou textového souboru *.txt, který obsahuje vždy v tomto pořadí:

1) počet polygonů
2) počet bodů v prvním polygonu
3) souřadnice X a Y (s desetinnou tečkou, pokud se nejedná o celé číslo) bodů prvního polygonu
4) počet bodů v druhém polygonu, souřadnice X a Y bodů druhého polygonu atd.

Př.: Vstupní soubor se 2 polygony, kde první polygon obsahuje 3 body a druhý polygon 4 body bude vypadat následovně:

2

3 12.2 4.1 8.3 11.4 6.8 7.9

4 1.1 2.2 3.3 4.4 5.5 6.6 7 8

Vše může být zapsáno do jednoho řádku, odděleno mezerami nebo jako v příkladu výše může každý útvar začínat na novém řádku.

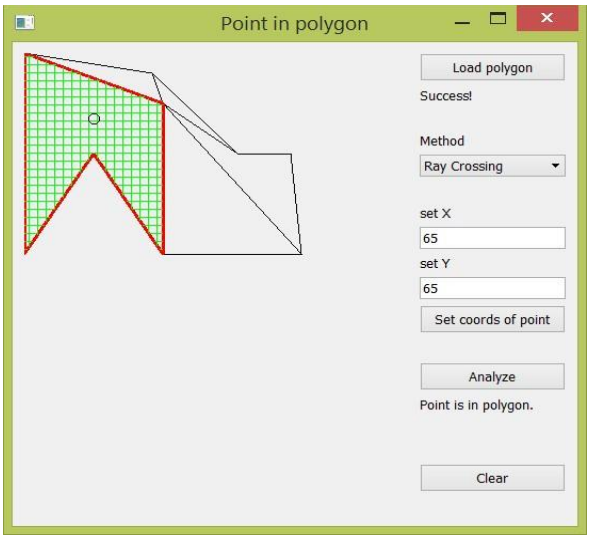
6.2 Bod q

Souřadnice bodu, jehož polohu vůči polygonům chceme zjistit, do aplikace vstupují interaktivně – zadáním souřadnic (s desetinnou tečkou, pokud se nejedná o celé číslo) nebo kliknutím myši do kanvasu.

7. Výstupní data

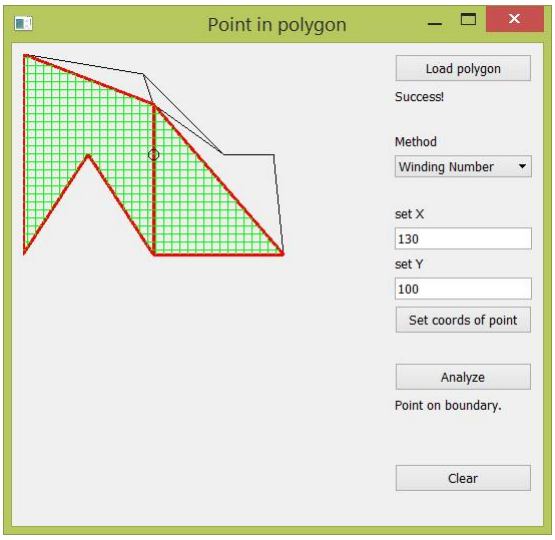
V grafickém rozhraní aplikace se po dokončení výpočtu vypíše výsledek:
Point in polygon / Point on boundary / Point is out a dojde k vybarvení dotčených polygonů.

Pokud je výsledek "*Point in polygon",* vybarví se polygon, uvnitř kterého bod leží.

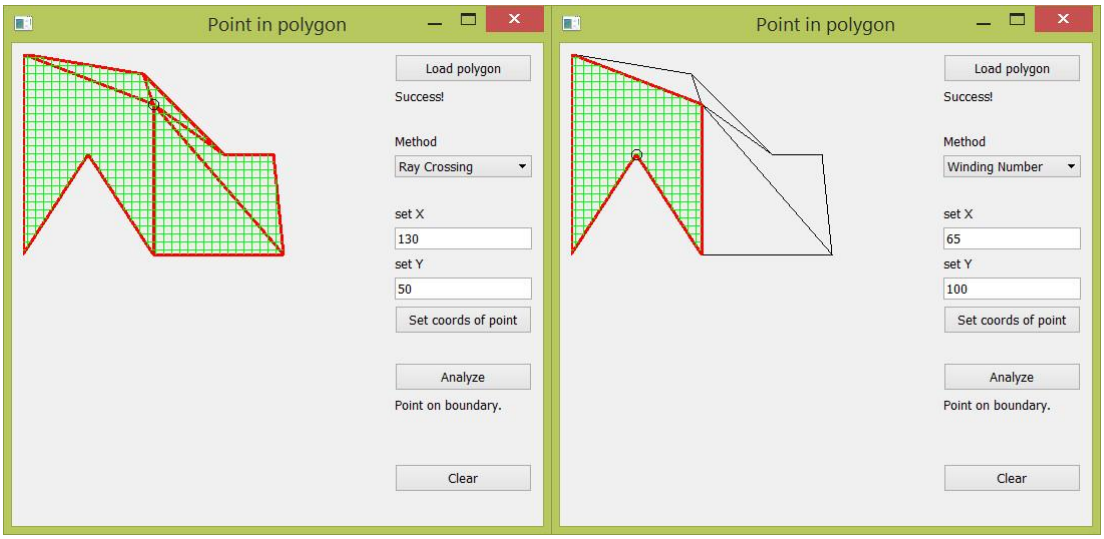


Obr. 1 Point in polygon

V případě, že je výsledek "*Point on boundary"* vybarví se ty polygony, na jejichž společné hraně bod leží nebo v případě, že je bod q zároveň vrcholovým bodem jednoho či více polygonů, vybarví se ty polygony, na jejichž hranici se vrcholový bod nachází.

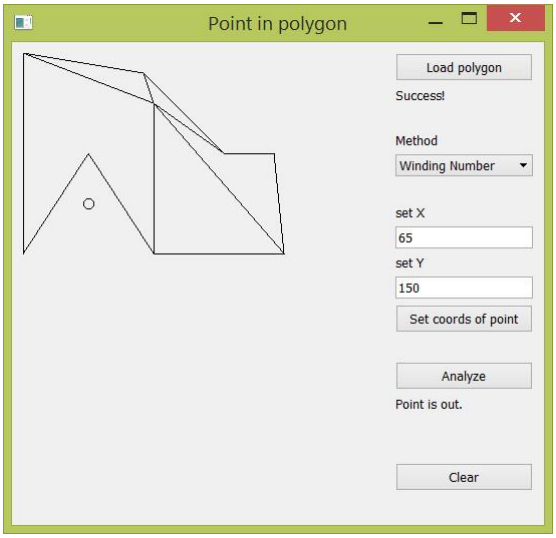


Obr. 2 Point on boundary – společná hrana



Obr. 3, 4 Point on boundary – vrcholový bod

Pokud je výsledek "*Point is out*" nevybarví se žádný polygon.

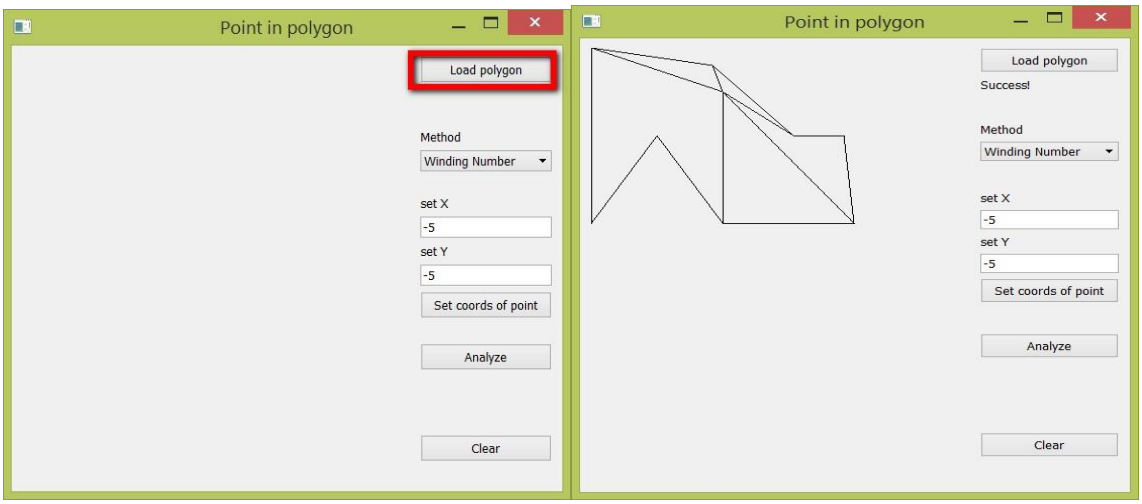


Obr. 5 Point is out

8. Ukázka vytvořené aplikace

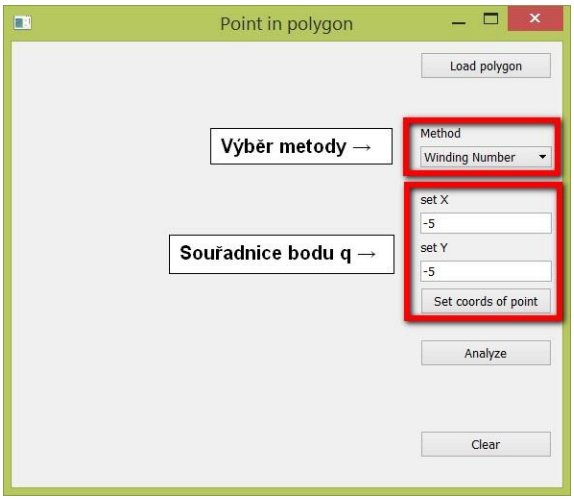
Načtení polygonů

Soubor se souřadnicemi polygonů je do aplikace importován stisknutím tlačítka "*Load polygon*" a výběrem souboru. Jestliže vše proběhlo v pořádku, vypíše se pod toto tlačítko zpráva "*Success!*"



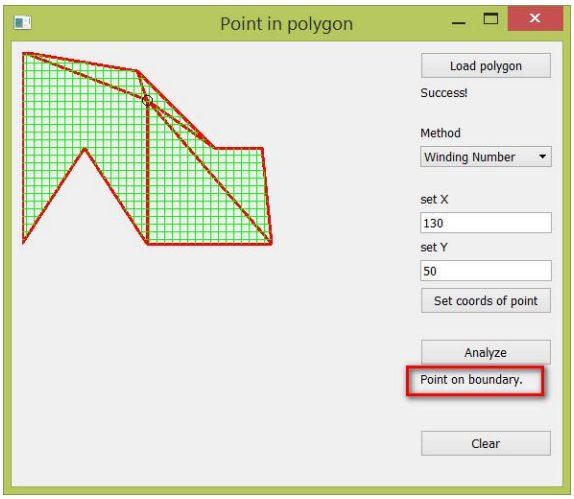
Obr. 6, 7 – Načtení polygonů

do políček "*Set" X* a "*Set Y"* a následným kliknutím na tlačítko "*Set coords of point".* Poté se zobrazí bod reprezentovaný kružnicí. Následně je třeba ještě vybrat v rozbalovacím menu metodu.



Obr. 8 – Vložení souřadnic bodu q a výběr metody

Následným stisknutím tlačítka Analyze je proveden výpočet a zobrazeny výsledky.



Obr. 9 – Výstupy

9. Dokumentace

Třídy

1) Algorithms
   - Ve třídě Algorithms jsou staticky implementovány výpočetní algoritmy pro určení polohy bodu vůči polygonu a jejich pomocné metody.

- Metoda **getPositionRay**
  - Tato metoda slouží k určení polohy bodu vůči polygonu pomocí Ray crossing algoritmu. V metodě je navíc implementováno určení, zda-li se bod nachází na hraně polygonu případně v některém z vrcholů. Její návratový typ je **integer**.
  - Vstup
    - **QPointF q** – bod, jehož poloha vůči polygonu se určuje
    - **std::vector<QPointF> pol** – polygon, vůči němuž se určuje poloha bodu q
  - Výstup
    - **-1** – bod se nachází na hranici nebo ve vrcholu daného polygonu
    - **0** – bod se nachází mimo daný polygon
    - **1** – bod se nachází uvnitř daného polygonu
- Metoda **getPositionWinding**
  - Tato metada slouží k určení polohy bodu vůči polygonu pomocí Winding algoritmu. Její návratový typ je **integer**.
  - Vstup
    - **QPointF q** – bod, jehož poloha vůči polygonu se určuje
    - **std::vector<QPointF> pol** – polygon, vůči němuž se určuje poloha bodu q
  - Výstup
    - **-1** – bod se nachází na hranici nebo ve vrcholu daného polygonu
    - **0** – bod se nachází mimo daný polygon
    - **1** – bod se nachází uvnitř daného polygonu
- Metoda **getPointLinePosition**
  - Tato metoda je pomocnou pro metodu **getPositionWinding**. Slouží k určení polohy bodu vůči přímce. Návratovou hodnotou je **integer**.

    - Vstup
        - **double x, y** – souřadnice určovaného bodu
        - **double x1, y1, x2, y2** – souřadnice bodů přímky
    - Výstup
        - **-1** – bod se nachází na přímce
        - **0** – bod se nachází vpravo od přímky
        - **1** – bod se nachází vlevo od přímky
- Metoda **getTwoVectorsAngle**
    - Tato metoda je druhou pomocnou pro metodu **getPositionWinding**. Slouží k určení úhlu mezi 2 přímkami. Její návratovou hodnotou je **double**.
    - Vstup
        - **double x1, y1, x2, y2** – body určující první přímku
        - **double x3, y3, x4, y4** – body určující druhou přímku
    - Výstup
        - úhel mezi 2 přímkami

2) Draw
   - Třída draw slouží k vykreslení zjišťovaného bodu a nahraných polygonů, dále k výplni polygonů, jichž se bod dotýká resp. polygonu, ve kterém bod leží. V konstruktoru třídy jsou nastaveny souřadnice zjišťovaného bodu q na výchozí hodnoty (-5,-5). Třída dědí od třídy **QWidget**.

- Členské proměnné
    - **QPointF q** – souřadnice zjišťovaného bodu, výchozí hodnoty jsou nastaveny v konstruktoru, dále se hodnoty mění buď stisknutím tlačítka myši nad vykreslovacím plátnem nebo přímým vstupem z klávesnice
    - **std::vector<std::vector<QPointF>> poly_pol**- vektor, ve kterém jsou uloženy vektory obsahující body jednotlivých polygonů
    - **std::vector<int> analysis_results** – vektor, ve kterém jsou uloženy výsledky analýzy polohy bodu vůči jednotlivým polygonům, pozice v tomto vektoru odpovídá pozici polygonů ve vektoru **poly_pol**

- Metoda **paintEvent**
    - Tato metoda slouží k vykreslení zjišťovaného bodu, nahraných polygonů a k vybarvení polygonů, jichž se bod dotýká resp. polygonu, ve kterém bod leží v závislosti na datech ve vektoru **analysis_results.** Volá se při zavolání **repaint(),** jež je členskou metodou třídy **QWidget.** Návratovým typem je **void**.
    - Vstup
        - **QPaintEvent *e**
- Metoda **mousePressEvent**
    - Tato metoda reaguje na stisknutí tlačítka myši nad vykreslovacím plátnem. Volá metodu **setPointCoords.** Návratovým typem je **void.**
    - Vstup
        - **QMouseEvent *e**
- Metoda **setPointCoords**

- Tato metoda slouží ke změně souřadnic bodu (členské proměnné) **q** a k překreslení. Jejím návratovým typem je **void.**
- Vstup
  - **double x, y –** nové souřadnice bodu **q**

- Metoda **clearCanvas**
  - Tato metoda slouží k vymazání obsahu vykreslovacího plátna, tedy k vymazání obsahu členské proměnné **poly_pol, analysis_results,** k nastavení souřadnic bodu **q** na výchozí hodnoty a k překreslení. Metoda nemá žádné vstupní hodnoty, jejím návratovým typem je **void.**
- Metoda **loadPolygon**
  - Tato metoda slouží k načtení polygonů z textového souboru a k jejich uložení do seznamu polygonů **poly_pol.** Metoda kontroluje správnost vstupního souboru. Jejím návratovým typem je **QString.**
  - Vstup
    - **std::string path –** cesta k souboru
  - Výstup
    - **QString msg –** zpráva obsahující informaci o správnosti načtení souboru
- Metoda **getQ**
  - Tato metoda slouží k získání souřadnic bodu **q**. Metoda nemá žádnou vstupní hodnotu, jejím návratovým typem je **QPointF.**
  - Výstup
    - **QPointF q –** souřadnice bodu **q**
- Metoda **getPol**
  - Tato metoda slouží k získání polygonu ze seznamu polygonů **poly_pol** v závislosti na vstupním indexu. Jejím návratovým typem je **std::vector<QPointF>**.
  - Vstup
    - **int index –** index chtěného polygonu
  - Výstup
    - **std::vector<QPointF> poly_pol[index] –** daný polygon
- Metoda **fillPolygon**
  - Tato metoda slouží k přiřazení výsledků analýzy do členské proměnné **analysis_results** a k překreslení. Jejím návratovým typem je **void.**
  - Vstup
    - **std::vector<int> analysis_results –** vektor s výsledky analýzy

3) Widget
   - Tato třída slouží ke komunikaci s GUI. Třída dědí od třídy **QWidget.** Všechny metody, které slouží jako sloty k signálům z GUI nemají žádné vstupní hodnoty a jejich návratovým typem je **void.**

- Metoda (slot) **on_clear_button_clicked**
  - Tato metoda reaguje na signál zmáčknutí tlačítka **Clear.** Volá metodu **clearCanvas()** z třídy **Draw**, maže výstup s informací o proběhlé analýze.
- Metoda (slot) **on_analyze_button_clicked**
  - Tato metoda reaguje na signál zmáčknutí tlačítka **Analyze.** V závislosti na uživatelsky zvoleném algoritmu zavolá příslušnou metodu z třídy **Algorithms.**
- Metoda (slot) **on_load_button_clicked**

- Tato metoda reguje na signál zmáčknutí tlačítka **Load polygon.** Otevírá dialog s adresáři a ukládá cestu zvoleného souboru s body polygonů, kterou dále posílá do metody **loadPolygon** třídy **Draw.**

- Metoda (slot) **on_set_coords_button_clicked()**
  - Tato metoda reaguje na signál zmáčnutí tlačítka **Set point coords.** Volá metodu **setPointCoords** z třídy **Draw** se vstupními hodnotami získanými uživatelským vstupem.
- Metoda **writeAnalysisResult**
  - Tato metoda vypisuje zprávu s informací o výsledku analýzy. Jejím návratovým typem je **void.**
  - Vstup
    - **int result –** výsledek analýzy (-1/0/1)
    - **bool &write_result** – určuje zda-li již byla vypsána zpráva s informací o poloze bodu v/na hranici polygonu

10. Závěr

10.1 Závěrečné zhodnocení

Programování je zábava. Je to ještě větší zábava v tom smyslu, že se tím člověk vlastně učí. Škoda, že se nám nepodařilo vymyslet algoritmus na generování nekonvexních polygonů, strávili jsme nad tím několik hodin a napsali a následně smazali několik desítek řádek kódu. Ale o tom to je, baví nás vymýšlet algoritmy a nevadí nám, že to někdy nedokážeme (a taky doufáme, že nám to ukážete vy). A ne, není to myšleno ironicky.

10.2 Náměty na vylepšení

Algoritmus pro generování nekonvexních polygonů

- Autorům se nepodařilo vymyslet a naimplementovat kvalitní algoritmus, který by generoval nekonvexní polygony.
- Navrhovaný algoritmus byl následující:

1. Vstup počet polygonů - uživatelské určení počtu polygonů
2. Deklarace seznamu polygonů
3. Pro první polygon
   3.1) Vygenerování náhodného počtu bodů tak, že u každé nové hrany se testuje, zda-li nekříží žádnou již vytvořenou (pomocí implementované metody **getTwoVectorsAngle** z třídy **Algorithms** a vypočtení případného průsečíku a otestovaní, zda-li neleží na testované hraně)
   3.2) Vytvoření obálky, do které je vložený celý polygon
   3.3) Vložení polygonu do seznamu polygonů.
4. Pro každý další polygon
   4.1) Určení náhodného startovního bodu z obálky a náhodného počtu po sobě jdoucích bodů z obálky, které budou součástí nového polygonu (počínaje startovním bodem), zapsání těchto bodů do seznamu bodů nového polygonu

4.2) Vygenerování náhodného počtu bodů, kterými se doplní vybrané body z obálky, u každé nové hrany se testuje křížení s hranami obálky a s nově vzniklými hranami. Dále se testuje, zda-li nový bod neleží uvnitř obálky (toto se testuje pouze u prvního přidávaného bodu, jelikož ten jediný by mohl splňovat podmínku nekřížení a být uvnitř obálky) pomocí například Winding algoritmu. Zapsání nových bodů do seznamu bodů nového polygonu.

4.3) Vymazání bodů z **1.** z obálky (krom krajních), přidání bodů z **2.** do obálky.

4.4) Vložení nového polygonu do seznamu polygonů.

- tento algoritmus je časově velmi náročný vzhledem k testování podmínek až po vložení bodu, krok vkládání jednoho bodu může být opakování nekonečněkrát
- místo, kam vkládat nový bod by bylo třeba určit předem

- Dalším návrhem bylo vygenerování náhodného počtu náhodně rozmístěných bodů, dále výběr jednoho z vygenerovaných bodů, výpočet úhlů mezi rovnoběžkou s osou x a spojnicí s každým dalším bodem, seřazení bodů podle velikosti úhlu a spojení v tomto pořadí. Nicméně takto vznikne pouze jeden polygon, problém je v generování a připojení dalších polygonů.

- Možným řešením by mohlo být využití triangulace.

11. Seznam literatury

[1] QT5 TUTORIAL QPAINTERPATH AND QPOLYGON - 2018. *BogoToBogo* [online]. San Francisco: Golden Gate Ave, 2016 [cit. 2018-10-23]. Dostupné z: *https://www.bogotobogo.com/Qt/Qt5_QPainterPath_QPolygon.php?fbclid=IwAR28EoKBjMQq9W_GPDswcNbP3HwarjqFzDteCQ197wuk0gPHxsxFV5Mha1E*