

Západočeská univerzita v Plzni
Fakulta aplikovaných věd
Katedra informatiky a výpočetní techniky

Bakalářská práce

Hodnocení kvality vrstevnic spočítaných na digitálním modelu reliéfu

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů.

V Plzni dne 5. května 2014

Tomáš Weisheitel

Abstrakt

Cílem této práce je vytvořit program, který bude hodnotit kvalitu vrstevnic spočítaných na digitálním modelu reliéfu ve formě trojúhelníkové sítě a současně poskytovat informace o vhodných postupech hodnocení.

Text je rozdělen do pěti kapitol. Kapitola první nastiňuje danou problematiku a hlavní cíl práce. Ve druhé kapitole jsou vysvětleny důležité pojmy a teoreticky popsána možná kritéria, která lze využít k detekci artefaktů. Třetí kapitola je zaměřena na popis tříd a struktur, vizualizaci a implementaci kritérií. V další kapitole jsou uvedeny experimenty a jejich zhodnocení, ze kterých vyplývají spolehlivá kritéria. Závěrečná pátá kapitola shrnuje nejdůležitější učiněné poznatky a návrhy dalšího vylepšení.

Abstract

The goal of this work is to create a program that will evaluate the quality of contour lines computed on a digital model of relief in the form of a triangle mesh and at the same time provide an information about appropriate procedures of evaluation.

The text is divided into five chapters. The first chapter outlines the main issues and the major goal of the work. The second chapter explains the important terms and theoretically described possible criteria which can be used to detect the artifacts. The third chapter focuses on the description of classes and structures, visualization and implementation of criteria. The next chapter provides experiments and their evaluation, which represent the reliable criteria. The fifth and also the last chapter summarize the most important findings and suggestions for further improvements.

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Tomáši Bayerovi, Ph.D. za poskytnutá data a odborné rady.

Rád bych také na tomto místě poděkoval vedoucí bakalářské práce Prof. Dr. Ing. Ivaně Kolingerové za poskytnuté materiály, rady a připomínky.

Obsah

1	Úvod	1
2	Hodnocení kvality vrstevnic	2
2.1	Kritéria pro jednu vrstevnici	4
2.1.1	Úhlové kritérium	4
2.1.2	LLR kritérium	5
2.1.3	Kritérium poměru úhlů	7
2.1.4	Kritérium poměru délek	8
2.1.5	Vrcholové kritérium	9
2.1.6	Znaménkové kritérium	9
2.1.7	Spojnicové kritérium	10
2.2	Kritéria pro více vrstevnic	11
2.2.1	Vzdálenostní kritérium	11
2.2.2	Kritérium počtu vrcholů	11
2.2.3	Délkové kritérium	12
3	Implementace	13
3.1	Třídy a struktury	14
3.2	Kritéria	15
3.3	Vizualizace	17
4	Experimenty a výsledky	18
4.1	Umělá data	19
4.1.1	Příliš ostrý úhel	19
4.1.2	Vyhovující vrstevnice	19
4.1.3	Nerovnoměrné délky hran	21
4.1.4	Ideální vrstevnice	21
4.1.5	Velká míra oscilace s rovnoměrnými délkami hran	22
4.1.6	Velká míra oscilace s nerovnoměrnými délkami hran	23
4.1.7	Vrstevnice s výrazným výběžkem	24
4.2	Reálná data	25

4.2.1	Vrstevnice s ostrým úhlem	25
4.2.2	Uzavřená vrstevnice	26
4.2.3	Vrstevnice s částečnou oscilací	26
4.2.4	Vrstevnice s nezachyceným artefaktem	28
4.2.5	Částečně se překrývající vrstevnice	30
4.2.6	Hodnocení jednoho souboru	31
4.2.7	Hodnocení více souborů	32
4.3	Zhodnocení experimentů	32
5	Závěr	36
	Přílohy	38
A	Ukázky dalších grafických výstupů	39

1 Úvod

V dnešní době, kdy je snaha využívat počítač v každém směru, ani kartografie nezůstává pozadu. Hlavním záměrem je co nejvíce za pomoci počítačů zjednodušit práci, kterou dříve zvládali pouze zkušení kartografové. Jedním z mnoha problémů je proces výpočtu vrstevnic na digitálním modelu terénu.

Při tomto procesu vzniká celá řada nežádoucích artefaktů, které by vrstevnice neměly obsahovat. Tyto artefakty snadno odhalí oko zkušeného kartografa, ale jejich automatická detekce je obtížná. Neexistuje totiž kritérium, které by postihlo všechny potřebné artefakty, vrstevnice vyhovující podle nějakého kritéria totiž může být zcela nevhodná podle kritéria jiného.

Logickou myšlenkou je proto pokusit se zkombinovat dohromady více kritérií a s jejich pomocí se pokusit o hodnocení a vzájemné porovnání vrstevnic. Hodnocení bude v budoucnu možné využívat také pro optimalizaci digitálního modelu terénu.

Cílem této práce je vytvořit program, který bude hodnotit kvalitu vrstevnic spočítaných na digitálním modelu reliéfu ve formě trojúhelníkové sítě, viz obr. 1.1.

Práce je rozdělena do několika kapitol. Kapitola 2 obsahuje vysvětlení používaných pojmů, specifikace artefaktů, které jsou nežádoucí pro kvalitní vrstevnice a popis vhodných kritérií pro detekci artefaktů. Kapitola 3 popisuje implementaci kritérií. Kapitola 4 se zaměřuje na provedené experimenty a výsledky testů a doporučení, jaká kritéria použít pro odhalení co největšího počtu těchto artefaktů. Kapitola 5 uzavírá práci. Další ukázky výsledků jsou v příloze A. Příložené CD obsahuje vytvořené programové vybavení a některé výsledky.



Obrázek 1.1: Ukázka digitálního modelu terénu [1].

2 Hodnocení kvality vrstevnic

Na úvod této kapitoly je nezbytné vysvětlit některé pojmy, které se v této práci budou vyskytovat.

DMT (Digitální model terénu) je reprezentativní soubor bodů reliéfu terénu vybraných podle určitých pravidel, polohově lokalizovaných s přiřazeným vektorem (sloupcem hodnot) parametrů terénu. Jde tedy o body, informace o nich a pravidla používání těchto informací [3].

Vrstevnice jsou nejčastěji počítány na DMT v podobě triangulovaného modelu tzv. **TIN (Triangulated irregular network)**, což je množina vrcholů a množina trojúhelníků nad těmito vrcholy. Někdy je vrstevnice také množina hran a informace o sousedních trojúhelnících.

Vrstevnice jsou uzavřené linie spojující na topografické ploše body o stejné, vhodně zaokrouhlené výšce. Vrstevnice jsou půdorysné obrazy průniků hladinových ploch (zjednodušeně vodorovných rovin) vedených v určitém výškovém intervalu [2].

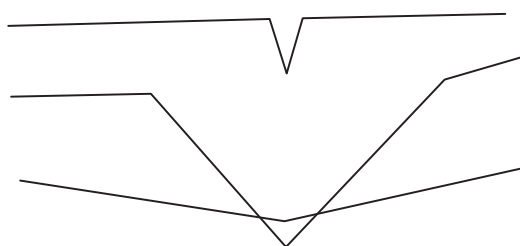
Vyhlazení odstranění nevhodných lomů a náhlých změn tvaru prvku. Takto upravené prvky působí v mapách estetičtěji než původní nevyhlazené prvky, jsou bližší kartografickému popisu reality [4].

Pro správnou detekci všech artefaktů je dále zapotřebí si říci, které vady na vrstevnicích jsou nežádoucí, viz obr. 2.1. Z pohledu kartografa nesmí ideální vrstevnice obsahovat žádné příliš ostré úhly neboli "zobáčky" či "zuby". Vrstevnice by měly mít přibližně konstantní délky hran a neměly by příliš oscilovat. Pro množinu vrstevnic dále platí, že by mezi sebou měly mít pokud možno konstantní vzdálenost, a neměly by tedy vznikat žádná prázdná místa. Navzájem se pak vrstevnice nesmějí nijak překrývat nebo se dokonce protínat.

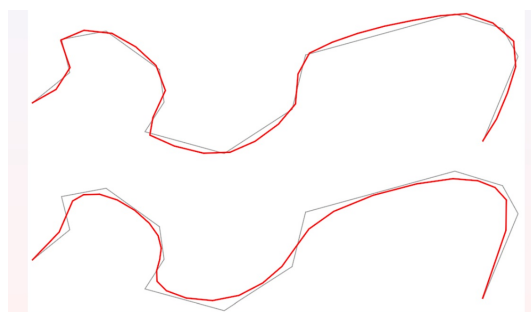
Jistou komplikací pro hledání nežádoucích vad představují vyhlazené vrstevnice, viz obr. 2.2. Protože vyhlazením zaniknou ostré úhly, ale celkový tvar vrstevnice může být stále nevyhovující, je tedy obtížnější správně ohodnotit takovou vrstevnici. Z tohoto důvodu je jednodušší provádět hodnocení na nevyhlazených vrstevnicích.

Kritéria použitá pro detekci artefaktů byla vybrána na základě informací

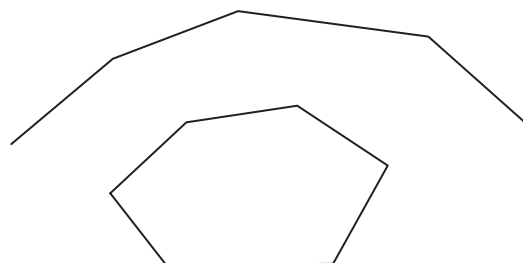
poskytnutých od ing. T. Bayera, Ph.D. z katedry aplikované geoinformatiky a kartografie, Přírodovědecká fakulta UK Praha. Tyto kritéria lze rozdělit na ty, co se vztahují k jedné vrstevnici, a na ty, která hodnotí více vrstevnic najednou. V podkapitole 2.1 jsou popsána kritéria, která se vztahují k jedné vrstevnici. Kritéria, která se vztahují k více vrstevnicím jsou popsána v podkapitole 2.2. Vstupem pro podkapitolu 2.1 je vrstevnice zadaná jako posloupnost vrcholů $P[i]$, $i=0, 1, \dots, n-1$, u uzavřené vrstevnice $P[0]=P[n-1]$. První a poslední vrchol může, ale nemusí být totožný. Na základě toho se vrstevnice rozdělují na uzavřené a otevřené, viz obr. 2.3. Složky x, y vrcholu $P[i]$ jsou nazývány $P[i]_1$ a $P[i]_2$ a vektoru u, u_1 a u_2 . Vstupem pro podkapitolu 2.2 je množina právě takových vrstevnic.



Obrázek 2.1: Ukázka nevyhovujících vrstevnic.



Obrázek 2.2: Ukázka vyhlazených vrstevnic [4].

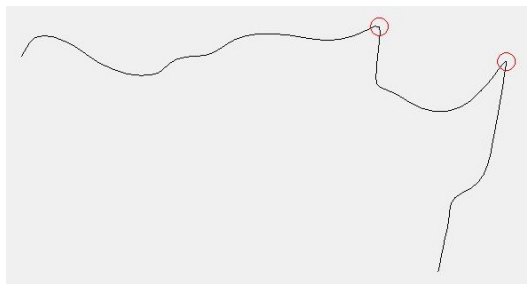


Obrázek 2.3: Ukázka uzavřené a otevřené vrstevnice.

2.1 Kritéria pro jednu vrstevnici

2.1.1 Úhlové kritérium

Úhlové kritérium slouží k detekci ostrých úhlů na vrstevnici, viz obr. 2.4. K hledání tohoto typu artefaktu využívá úhlu, který svírají dvě úsečky, respektive jejich směrové vektory.



Obrázek 2.4: Ukázka detekovaných artefaktů.

U uzavřené vrstevnice se výpočet provádí pro každý vrchol. Drobný rozdíl nastává u otevřené vrstevnice, kde se vynechává první a poslední vrchol. Je to z toho důvodu, že pro výpočet je zapotřebí mít pro každý vrchol $P[i]$ vrcholy $P[i-1]$ a $P[i+1]$, a ty v případě krajních vrcholů otevřené vrstevnice nejsou k dispozici. Mezi vrcholy $P[i]$, $P[i-1]$ a $P[i+1]$ existují vždy dvě úsečky, které svírají úhel, viz obr. 2.5. Pro výpočet tohoto úhlu je použit následující vzorec:

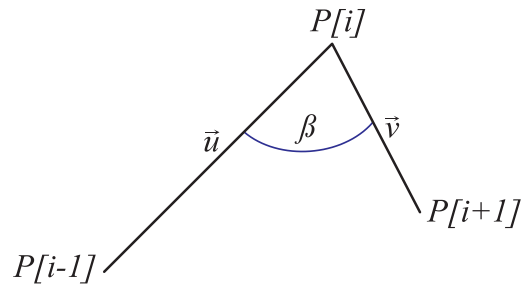
$$\cos \beta = \frac{\vec{u} * \vec{v}}{|\vec{u}| * |\vec{v}|} = \frac{u_1v_1 + u_2v_2}{\sqrt{u_1^2 + u_2^2} * \sqrt{v_1^2 + v_2^2}} \quad (2.1)$$

,kde

\vec{u} , \vec{v} - jsou směrové vektory dvou následujících úseček, viz obr. 2.5.

β - je hledaný úhel, viz obr.2.5.

Na základě zvolené mezní povolené hodnoty úhlu je možno jednoznačně označit úhel za vyhovující nebo nevyhovující. Mezní hodnotu lze volit z intervalu $\langle 0, 180 \rangle$. Následně lze rozhodnout, jestli je vrstevnice kvalitní, nebo nikoliv.



Obrázek 2.5: Úhel mezi dvěma úsečkami.

2.1.2 LLR kritérium

S využitím LLR (Local Length Ratio) kritéria je možná detekce kritických bodů v místech s maximální změnou křivosti. To znamená, že za pomoci tohoto kritéria lze, obdobně jako u úhlového kritéria, detekovat ostré úhly na vrstevnici, viz obr. 2.4.

Local Length Ratio (*LLR*) pro úsečku AB , která je částí vrstevnice, se spočítá podle následujícího vztahu:

$$LLR = \frac{l_{AB}}{d_{AB}} \quad (2.2)$$

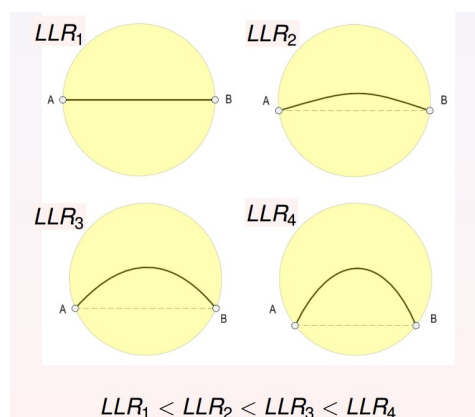
,kde

l_{AB} - je délka křivky mezi body A a B , viz obr. 2.7.

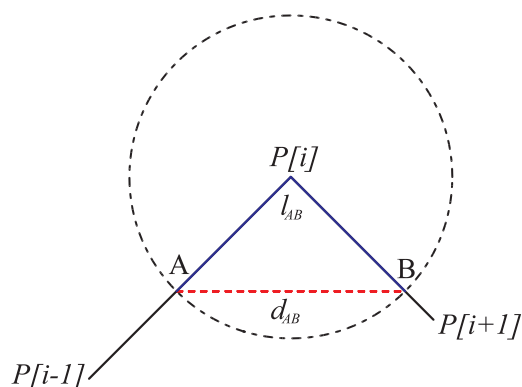
d_{AB} - je délka úsečky mezi body A a B , viz obr. 2.7.

LLR libovolné křivky bude vždy větší nebo rovno 1. Pro úsečku bude vždy *LLR* rovno 1. Čím více se křivka odchyluje od \overline{AB} , tím větší hodnoty *LLR* nabývá, viz obr. 2.6.

Výpočet *LLR*, stejně jak tomu bylo u úhlového kritéria, se provádí pro každý vrchol uzavřené vrstevnice. Protože u tohoto kritéria je také nezbytné mít pro každý vrchol $P[i]$ vrcholy $P[i-1]$ a $P[i+1]$, opětovně se vynechává první a poslední vrchol otevřené vrstevnice. Výpočet využívá úsečky mezi vrcholy $P[i]$, $P[i-1]$ a $P[i+1]$ a pomocnou kružnici se středem ve vrcholu $P[i]$, viz obr. 2.7. Výpočet kritéria LLR je invariantní vůči poloměru této kružnice, to znamená, že výsledek nezáleží na tom, jaký poloměr je zvolen.

Obrázek 2.6: Porovnání hodnot LLR [2].

Poloměr kružnice může být tedy libovolný. Nesmí být však větší než menší z dvojice úseček. Pokud by například byla velikost kratší úsečky 1, musí být poloměr zvolen z intervalu $(0, 1)$. Kružnice protíná úsečky právě ve dvou bodech, v bodu A a v bodu B, viz obr. 2.7. Tyto body jsou stěžejní pro výpočet LLR .

Obrázek 2.7: LLR .

Na základě hodnot LLR kritérií se vrcholy rozdělují do tří skupin:

1) $LLR \in (1.04, 1.15)$ - úhel mezi sousedními segmenty větší než 120° , hladké přechody mezi sousedními segmenty.

2) $LLR \in (1.15, 1.30)$ - úhel mezi sousedními segmenty v intervalu $90^\circ - 120^\circ$, ostré zlomy.

3) $LLR > 1.30$ - úhel mezi sousedními segmenty menší než 90° , velmi ostré přechody.

S pomocí tohoto rozdělení lze klasifikovat jednotlivé vrcholy. Hodnoty, které spadají do 2. a 3. kategorie, jsou zpravidla považovány za nevyhovující. Následně je možno podle poměru počtu vyhovujících a nevyhovujících hodnot rozhodnout o kvalitě celé vrstevnice.

2.1.3 Kritérium poměru úhlů

Kritérium poměru úhlů je nadstavbou již zmíněného úhlového kritéria. Úhel se vypočte podle vzorce 2.1. Kritérium se následně spočte podle vzorce:

$$h = \frac{\beta}{\beta_{max}} \quad (2.3)$$

,kde

β - je vypočtený úhel podle vzorce 2.1.

β_{max} - je maximální vypočtený úhel.

Normalizace dělením maximální hodnotou úhlu ulehčuje hodnocení. Konečné vyhodnocení, se provádí porovnáním hodnoty h s mezní povolenou hodnotou, která se v tomto případě volí z intervalu $\langle 0, 1 \rangle$. Na závěr je možné určit kvalitu samotné vrstevnice podle poměru vyhovujících a nevyhovujících hodnot.

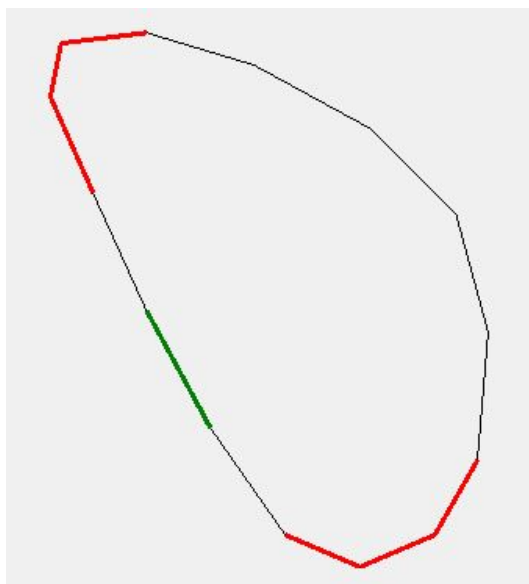
2.1.4 Kritérium poměru délek

Na rozdíl od tří předchozích kritérií, která se zabývala detekcí ostrých úhlů, toto kritérium se zaměřuje na jiný typ artefaktů související s nerovnoměrnými délkami úseček vrstevnice.

Kritérium poměru délek, jak již název napovídá, pracuje s délkami úseček vrstevnice. Tyto délky by pro celou vrstevnici měly být přibližně konstantní. K zjištění, jestli tomu tak doopravdy je, slouží právě toto kritérium, viz obr. 2.8. Výpočet probíhá od prvního do posledního vrcholu. Vždy je počítána délka mezi vrcholy $P[i]$ a $P[i+1]$.

Než je možné přistoupit k hodnocení, musí se nejprve udělat normalizace vypočtených délek. To znamená, že je v první řadě nutné nalézt tu délku, která je na vrstevnici nejdelší a tou délkou vydělit. Samotná klasifikace probíhá obdobně jako u předchozího kritéria, a to tak, že normalizované délky porovnáváme s mezní povolenou hodnotou. Tuto mez je opět možno volit z intervalu $\langle 0, 1 \rangle$.

Jakmile je o všech délkách jednoznačně rozhodnuto, zda jsou vyhovující, lze přistoupit k rozhodování o kvalitě celé vrstevnice.



Obrázek 2.8: Ukázka detekovaných artefaktů za pomoci kritéria poměru délek. (zeleně je označena nejdelší hrana, červeně jsou označeny nevyhovující hrany podle kritéria poměru délek)

2.1.5 Vrcholové kritérium

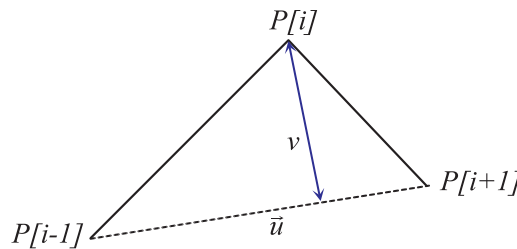
Kritérium maximální vzdálenosti strany od vrcholu (dále jen vrcholové kritérium) klasifikuje vrstevnici podle vrcholu, jehož míra odchýlení od přímky je největší. Pro každý vrchol $P[i]$, který splňuje podmínku existence vrcholů $P[i-1]$, $P[i+1]$, se počítá vzdálenost od spojnice těchto vrcholů, viz obr. 2.9.

Výpočet se provádí dvoufázově. V první fázi se pro každý vrchol $P[i]$ vrstevnice vypočítá vzdálenost od strany $P[i-1]$, $P[i+1]$. Výpočet vzdálenost v je realizován podle vzorce:

$$v = \frac{|u_2 P[i]_1 - u_1 P[i]_2 - P[i-1]_1 P[i+1]_2 + P[i+1]_1 P[i-1]_2|}{\sqrt{u_1^2 + u_2^2}} \quad (2.4)$$

,kde

\vec{u} - je vektor mezi vrcholy $P[i-1]$ a $P[i+1]$, viz obr. 2.9.



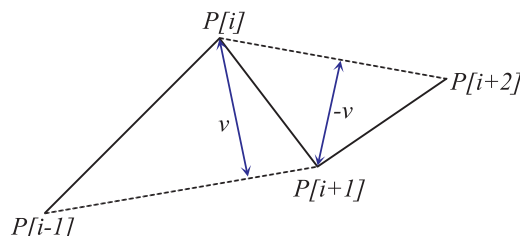
Obrázek 2.9: Vrcholové kritérium.

2.1.6 Znaménkové kritérium

Znaménkové kritérium vychází z předpokladu, že ideální vrstevnice by neměla příliš často měnit svůj směr a tím způsobovat oscilaci. Kritérium tedy penalizuje každou takovou změnu na vrstevnici.

Výpočet probíhá obdobně jako u vrcholového kritéria. Jediným rozdílem je absence absolutní hodnoty ve vzorci 2.4, což znamená, že se zachovávají znaménka u v , viz obr. 2.10. V tomto kritériu nezáleží na hodnotě jako právě na samotných znaménkách u v , podle kterých se provádí následná klasifikace. Každá po sobě jdoucí změna znaménka u v je penalizována a označena

za nežádoucí. Ideální vrstevnice by měla mít minimální, nejlépe nulový, počet těchto změn. Pro konečné hodnocení vrstevnice tedy platí, že čím méně takových změn bude, tím je vrstevnice kvalitnější.



Obrázek 2.10: Znaménkové kritérium.

2.1.7 Spojnicové kritérium

Toto kritérium klasifikuje vrstevnici podle poměru délky spojnice prvního a posledního bodu ku celkové délce vrstevnice (dále jen spojnicové kritérium), viz obr. 2.11. Kvalitní vrstevnice by měla mít tento poměr co nejlíže jedné. Výpočet se realizuje podle vzorce:

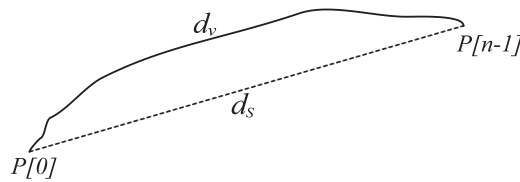
$$p = \frac{d_s}{d_v} \quad (2.5)$$

,kde

d_s - je délka spojnice.

d_v - je délka vrstevnice.

Výsledné číslo bude z intervalu $\langle 0, 1 \rangle$. Porovnáním tohoto čísla se zvolenou mezí lze rozhodnout, jestli vrstevnice splňuje požadovanou hranici nebo nikoliv. Toto kritérium se od ostatních liší tím, že jeho použití má smysl pouze pro otevřené vrstevnice. Cílem tohoto kritéria je ověřit, jestli vrstevnice příliš neosciluje.



Obrázek 2.11: Spojnicové kritérium. (d_s je délka spojnice, d_v je délka vrstevnice)

2.2 Kritéria pro více vrstevnic

2.2.1 Vzdálenostní kritérium

Poměr nejmenší a největší vzdálenosti dvou sousedních vrstevnic (dále jen vzdálenostní kritérium) je první ze skupiny kritérií určených pro detekci artefaktů v množině vrstevnic. Cílem tohoto kritéria je zkontrolovat, jestli vzdálenosti mezi sousedními vrstevnicemi jsou přibližně všude stejné. V případě, že vypočtená vzdálenost nebude v absolutní hodnotě, toto kritérium zároveň odhalí, pokud by se vrstevnice překrývaly nebo protínaly. Nejprve je potřeba zjistit maximální a minimální vzdálenost mezi oběma vrstevnicemi. Následně se vypočítá poměr mezi těmito vzdálenostmi a k samotnému vyhodnocení postačí už pouze porovnat poměr se zvolenou mezní povolenou hodnotou.

2.2.2 Kritérium počtu vrcholů

Toto kritérium, v porovnání s předchozím, patří k těm jednodušším, to mu ale nijak neubírá na efektivnosti. Všechny vrstevnice by měli mít podobný počet vrcholů.

Výpočet je realizován podle vzorce:

$$h = \frac{V}{V_{max}} \quad (2.6)$$

,kde

V - je počet vrcholů vrstevnice.

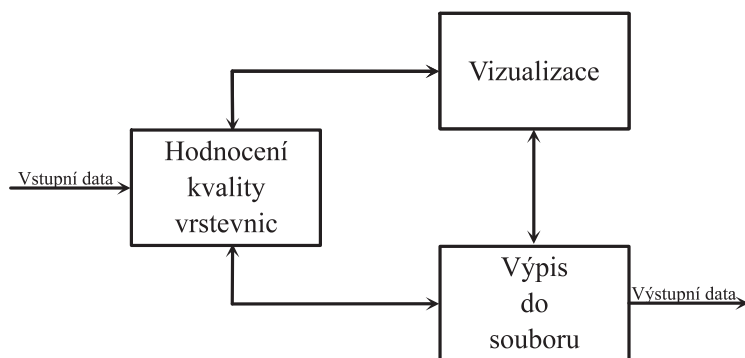
V_{max} - je maximální počet vrcholů.

Následně už jen stačí hodnotu h porovnat se zvolenou mezí. Tuto mez, lze volit z intervalu $\langle 0, 1 \rangle$.

2.2.3 Délkové kritérium

Kritérium poměru délek dvou sousedních vrstevnic (dále jen délkové kritérium) kontroluje, jestli všechny vrstevnice z množiny mají přibližně stejnou délku. V ideálním případě by právě toto mělo být splněno. Výpočet je opět jednoduchý, stačí pouze vypočítat délky dvou sousedících vrstevnic a následně opět vydělit menší délku délkou větší. Jako v předchozích kritériích, která pracovala s poměrem, stačí na závěr pouze porovnat poměr se zvolenou mezní hodnotou, kterou lze volit z intervalu $\langle 0, 1 \rangle$.

3 Implementace



Obrázek 3.1: Blokové schéma programu.

Celý program je realizován v programovacím jazyce C# jako Windows Forms Application. Volba toho jazyka byla jednak z důvodu autorovy preference, dále také faktu, že C# je vhodný pro různé grafické výstupy. Ať už se jedná o 2D nebo 3D grafiku. Hlavní bloky realizované aplikace jsou na obr. 3.1. Uživatelská dokumentace se nachází v odděleném svazku.

Před samotným popisem implementace kritérií je nezbytné popsat a vysvětlit, jaké třídy a struktury jsou použity, pro uchovávání a práci s daty. Jednotlivá kritéria, která byla popsána v kapitole Hodnocení kvality vrstevnic, jsou implementována do metod. Vstupním parametrem každé metody je instance třídy *Vrstevnice*. Algoritmus jednotlivých metod se liší podle toho, jestli je vrstevnice uzavřená nebo otevřená.

3.1 Třídy a struktury

Třída Vrstevnice:

Tato třída je navržena podle návrhového vzoru přepravka [5] a uchovává informace o jedné vrstevnici. Třída *Vrstevnice* obsahuje čtyři atributy. Tyto atributy jsou číselný identifikátor vrstevnice, identifikátor, jestli je vrstevnice otevřená nebo uzavřená, počet vrcholů vrstevnice a seznam těchto vrcholů. Každá instance třídy *Vrstevnice* je součástí nadřazené třídy *Blok*.

Třída Blok:

Opět se jedná o návrhový vzor přepravka [5]. Tato třída uchovává informace o bloku vrstevnic, které se nacházejí na stejné výšce. Obsahuje tři atributy, kterými jsou výška, ve které se celý blok vrstevnic nachází, dále počet vrstevnic obsažených v bloku a nakonec seznam jednotlivých instancí třídy *Vrstevnice*. Každý *Blok* spadá pod třídu nejvýše uloženou *Data*.

Třída Data:

Tato třída má pouze jeden atribut a tím je seznam všech instancí třídy *Blok*, viz obr. 3.2. Dále se v této třídě nachází metody pro načítání dat. Program umožňuje načítat tři typy vstupních dat, a to testovací data, data pocházející z UK Praha a data pocházející ze ZČU Plzeň (podrobněji viz kapitola 4). Protože se formáty jednotlivých typů liší, bylo zapotřebí vytvořit jednu metodu, která načte příslušná data, pro každý formát. Všechny metody ukládají data do předpřipravených tříd, viz obr. 3.2. Jakmile proběhne proces načítání, program dále nerozlišuje, o jaký typ vstupního formátu se jedná.

Struktura Vektor:

Tato struktura slouží pro uchovávání vektorů, se kterými pracují některá kritéria. Struktura obsahuje tři atributy, a to souřadnice směrového vektoru a délku vektoru.

Struktura Trojice:

Protože většina kritérií pro svůj výpočet potřebuje vrcholy $P[i]$, $P[i-1]$ a $P[i+1]$, byla vytvořena struktura, která uchovává souřadnice právě těchto vrcholů. Trojice obsahuje šest atributů. Tyto atributy jsou x-ová a y-ová souřadnice každého vrcholu $P[i]$, $P[i-1]$ a $P[i+1]$.

```

Data
  List <Blok>

Blok
  výška
  počet vrstevnic
  List <Vrstevnice>

Vrstevnice
  id
  otevřená
  počet bodů
  List <Double[]>

```

Obrázek 3.2: Třídy a jejich atributy pro uchování dat.

3.2 Kritéria

Úhlové kritérium

Metoda prochází vrcholy $P[1]$ až $P[n-2]$ u otevřené vrstevnice a $P[0]$ až $P[n-1]$ u uzavřené vrstevnice. Do instance struktury Trojice jsou při každém průchodu vloženy vrcholy $P[i]$, $P[i-1]$ a $P[i+1]$. Protože mezi těmito třemi vrcholy existují vždy dvě úsečky, jsou následně vytvořeny dvě instance třídy Vektor, u a v . Poté podle vzorce 2.1 je vypočítán úhel. Každý vypočítaný úhel je uložen v seznamu. Po průchodu všech vrcholů je jako návratová hodnota předáván právě tento seznam, ve kterém jsou uloženy všechny úhly. Na základě hodnot úhlů program provádí hodnocení jednotlivých vrcholů.

LLR kritérium

Tato metoda opět prochází vrcholy $P[1]$ až $P[n-2]$ u otevřené vrstevnice a $P[0]$ až $P[n-1]$ u uzavřené vrstevnice. Na začátku je vytvořena kružnice se středem ve vrcholu $P[i]$. Následně jsou nalezeny body A, B, které vznikly průnikem kružnice a úseček mezi vrcholy. Dále je vypočtena vzdálenost d_{AB} a délka l_{AB} , viz obr. 2.7. Na závěr je délka l_{AB} dělena vzdáleností d_{AB} , viz vzorec 2.2. Vypočtená hodnota LLR se opět uchovává v seznamu, který je na závěr předáván jako návratová hodnota. Program s tímto seznamem dále pracuje.

Kritérium poměru úhlů

Jak již bylo řečeno v kapitole Hodnocení kvality vrstevnic, je toto kritérium nadstavbou Úhlového kritéria. Je aplikován stejný algoritmus pro výpočet úhlu, jako je tomu u Úhlového kritéria. Navíc je každý úhel ze seznamu ještě dělen maximálním vypočteným úhlem a uložen zpět. Seznam, který nyní obsahuje pouze hodnoty z intervalu $\langle 0, 1 \rangle$, je předán jako návratová hodnota.

Kritérium poměru délek

Metoda poměru délek prochází vrcholy $P[1]$ až $P[n-1]$ u otevřené a $P[0]$ až $P[n-1]$ u uzavřené vrstevnice. Mezi vrcholy $P[i]$ a $P[i-1]$ existuje úsečka, pro kterou se spočítá její směrový vektor. V dalším kroku se spočte délka toho vektoru. Každá délka je přidána do seznamu, který obsahuje jednotlivé délky. Stejně jako u kritéria poměru úhlu se následně nalezne největší délka a všechny ostatní jsou touto délkou vyděleny a vráceny zpět do seznamu. Opět se v tomto okamžiku na seznamu nacházejí pouze hodnoty v intervalu $\langle 0, 1 \rangle$. Tento seznam je opět předán jako návratová hodnota.

Vrcholové kritérium

Tato metoda prochází vrcholy $P[1]$ až $P[n-2]$ u otevřené vrstevnice a $P[0]$ až $P[n-1]$ u uzavřené vrstevnice. Vždy při každém průchodu jsou do vytvořené instance struktury Trojice vloženy vrcholy $P[i]$, $P[i-1]$, $P[i+1]$. Dále vytvoří instance struktury Vektor, které se přiřadí souřadnice vektoru u . Následně podle vzorce 2.4 se vypočítá vzdálenost vrcholu od strany. Tato vypočtená vzdálenost je vždy porovnávána s doposud maximální vzdáleností. Jakmile jsou všechny vrcholy prohlédnuté, metoda vrátí maximální vzdálenost jako návratovou hodnotu.

Znaménkové kritérium

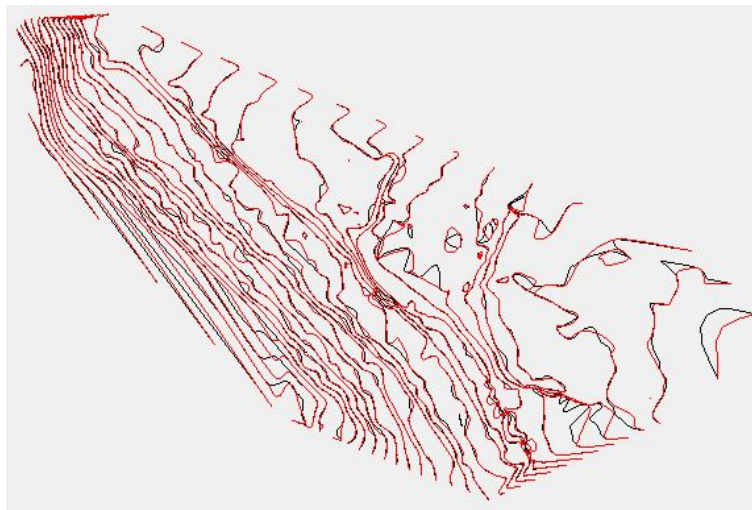
U této metody je použit obdobný algoritmus jako u metody předchozí. Jediný rozdíl je, že při výpočtu vzdálenosti podle vzorce 2.4 se vynechává absolutní hodnota. Jak již bylo řečeno v kapitole Hodnocení kvality vrstevnic, je to z toho důvodu, aby se zachovala znaménka u hodnot. Každá takto vypočtená vzdálenost je vložena do seznamu, který je na konci předáván jako návratová hodnota.

Spojnicové kritérium

V této metodě se pouze spočítá délka celé vrstevnice a vzdálenost mezi vrcholem $P[0]$ a $P[n-1]$. Dále podle vzorce 2.5 se tyto dvě hodnoty vydělí a výsledná hodnota je návratovou hodnotou této metody.

3.3 Vizualizace

K vykreslování všech 2D grafických primitiv je využívána třída `Graphics`. Program umožňuje vykreslovat celý ohodnocený soubor, vrstevnice v určité výšce, popřípadě jen jednu vrstevnici. Dále je možno zvýraznit jednotlivé vrcholy. Každé kritérium má odlišný styl vizualizace podle toho, co detekuje. Úhlové kritérium, kritérium LLR a kritérium poměru úhlů kroužkují vrcholy, které byly vyhodnoceny jako nevyhovující. Kritérium poměru délek obarvuje hrany, jejichž délky jsou příliš krátké. Spojnicové a znaménkové kritérium zvýrazní celou nevyhovující vrstevnici. Vrcholové kritérium zakroužkuje vždy vrchol s největší vzdáleností od přímky. Lze také vykreslit dva soubory stejných formátů. Jeden soubor vrstevnic je vždy překreslen druhým, který má odlišnou barvu. Na první pohled je tedy vidět, v čem se tyto soubory liší, viz obr. 3.3.



Obrázek 3.3: Ukázka vykreslení dvou souborů vrstevnic přes sebe.

4 Experimenty a výsledky

První experimenty probíhaly na uměle vytvořených datech a byly zaměřeny na testování kritérií, která byla popsána v 2. a 3. kapitole. Všechna umělá data byla vytvořena tak, aby co nejvíce simulovala reálné vady, které jsou na vrstevnici nežádoucí. Ověřovala se funkčnost kritérií a správnost implementace. Dále by na umělých datech mělo být patrné, co je možno pomocí kritérií detekovat a co už nikoliv.

Další experimenty byly prováděno na reálných datech, která byla poskytnuta Ing. Tomášem Bayerem, Ph.D. z UK Praha a Prof. Dr. Ing. Ivanou Kolingerovou ze ZČU Plzeň. Cílem experimentů bylo otestovat chování metod při aplikaci na reálných vrstevnicích.

Poslední prováděný experiment měl za cíl demonstrovat, že je možno jednoznačně rozhodnout, který z porovnávaných vstupních souborů obsahuje kvalitnější vrstevnice.

Pro vyhodnocení výsledných hodnot je zapotřebí zjistit jestli patří do intervalu hodnot pro kvalitní vrstevnici, viz tabulka 4.1. Volba těchto intervalů byla provedena na základě provedených experimentů.

Tabulka 4.1: Kritéria použitá pro experimenty

Název kritéria	Interval hodnot pro kvalitní vrstevnice
Úhlové kritérium	$\langle 120, 180 \rangle$
Kritérium LLR	$(1.04, 1.15)$
Kritérium poměru úhlů	$\langle 0.75, 1 \rangle$
Kritérium poměru délek	$\langle 0.75, 1 \rangle$
Vrcholové kritérium	-
Znaménkové kritérium	$\langle 0.75, 1 \rangle$
Spojnicové kritérium	$\langle 0.75, 1 \rangle$

4.1 Umělá data

4.1.1 Příliš ostrý úhel

Specifikace vstupních dat: Lomená čára s výrazným ostrým úhlem, viz obr. 4.1.

Typ simulované vady: Příliš ostrý úhel neboli "zub".

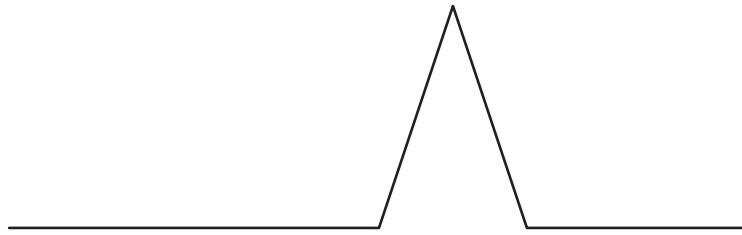
Zhodnocení experimentu: Experiment dopadl podle očekávání, viz tabulka 4.2. Úhlové kritérium, kritérium LLR a kritérium poměru úhlů bez problémů detekovala daný typ artefaktu. Úspěšnost zbylých kritérií byla silně závislá na konkrétním průběhu lomené čáry. Vrcholové kritérium nezachytí správný uhel, když na vrstevnici bude jiný, který bude mít větší vzdálenost od přímky, viz obr. 4.2. Délkové kritérium selže, jakmile budou všechny délky hran přibližně stejné. Spojnicové kritérium nedokáže správně označit vrstevnici, když by simulovaný "zub" byl hodně malý. Znaménkové kritérium selže, pokud lomená čára bude obsahovat velké množství vrcholů. Ukázky zbylých modifikací, kvůli kterým nebyla kritéria schopna detekovat daný typ vady, jsou v příloze A.

Tabulka 4.2: Výsledky experimentu 4.1.1.

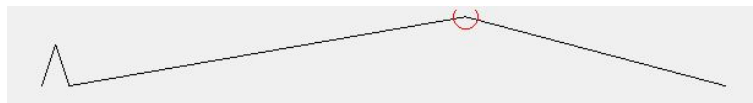
Název kritéria	Zachycení vady
Úhlové kritérium	Ano
Kritérium LLR	Ano
Kritérium poměru úhlů	Ano
Kritérium poměru délek	Ne
Vrcholové kritérium	Ne
Znaménkové kritérium	Ne
Spojnicové kritérium	Ne

4.1.2 Vyhovující vrstevnice

Specifikace vstupních dat: Lomená čára s tupým úhlem a s přibližně stejnou délkou hran, viz obr. 4.3.



Obrázek 4.1: Lomená čára pro experiment 4.1.1.



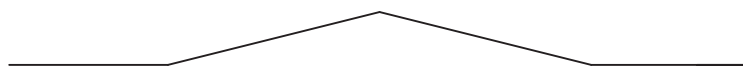
Obrázek 4.2: Lomená čára, při které neuspělo vrcholové kritérium.

Typ simulované vady: Vyhovující vrstevnice.

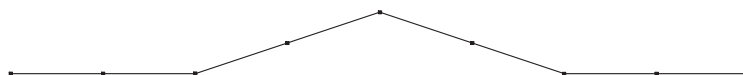
Zhodnocení experimentu: Experiment dopadl u většiny kritérií podle očekávání, viz tabulka 4.3, s výjimkou znaménkové kritérium, které označilo správně tuto lomenou čáru za nevyhovující. Protože lomená čára obsahuje pouze 5 vrcholů. Při tomto počtu vrcholů se na lomené čáře mohou vyskytnout maximálně 2 změny. Vyhodnocování znaménkového kritéria probíhá tak, že se mezi sebou vydělí počet detekovaných změn a maximální možný počet změn. U tohoto experimentu nastane situace, kdy je výsledná hodnota 1. Nevýhodou je, že existuje možnost jak toto kritérium obejít. V případě, že se přidá větší počet vrcholů, viz obr. 4.4, toto kritérium selže. Tato nevýhoda je nejvíce patrná na vyhlazených vrstevnicích.

Tabulka 4.3: Výsledky experimentu 4.1.2.

Název kritéria	Zachycení vady
Úhlové kritérium	Ne
Kritérium LLR	Ne
Kritérium poměru úhlů	Ne
Kritérium poměru délek	Ne
Vrcholové kritérium	Ne
Znaménkové kritérium	Ano
Spojnicové kritérium	Ne



Obrázek 4.3: Lomená čára pro experiment 4.1.2.



Obrázek 4.4: Lomená čára pro experiment 4.1.2 s více vrcholy.

4.1.3 Nerovnoměrné délky hran

Specifikace vstupních dat: Přímka s nerovnoměrnými délkami hran, viz obr. 4.5

Typ simulované vady: Nerovnoměrné délky hran.

Zhodnocení experimentu: Tento experiment dopadl přesně podle očekávání, viz tabulka 4.4. Kritérium poměru délek bez problému odhalilo nežádoucí artefakt. Ostatní kritéria nejsou schopna žádným způsobem detekovat tento typ vady.

Tabulka 4.4: Výsledky experimentu 4.1.3.

Název kritéria	Zachycení vady
Úhlové kritérium	Ne
Kritérium LLR	Ne
Kritérium poměru úhlů	Ne
Kritérium poměru délek	Ano
Vrcholové kritérium	Ne
Znaménkové kritérium	Ne
Spojnicové kritérium	Ne

4.1.4 Ideální vrstevnice

Specifikace vstupních dat: Přímka s rovnoměrnými délkami hran, viz obr. 4.6

Typ simulované vady: Ideální vrstevnice.



Obrázek 4.5: Přímka pro experiment 4.1.3.

Použitá kritéria: viz tabulka 4.5.

Zhodnocení experimentu: Protože se jedná o ideální lomenou čáru, nebyla detekována žádná vada a experiment dopadl podle očekávání, viz tabulka 4.5.

Tabulka 4.5: Výsledky experimentu 4.1.4.

Název kritéria	Zachycení vady
Úhlové kritérium	Ne
Kritérium LLR	Ne
Kritérium poměru úhlů	Ne
Kritérium poměru délek	Ne
Vrcholové kritérium	Ne
Znaménkové kritérium	Ne
Spojnicové kritérium	Ne



Obrázek 4.6: Přímka pro experiment 4.1.4.

4.1.5 Velká míra oscilace s rovnoměrnými délkami hran

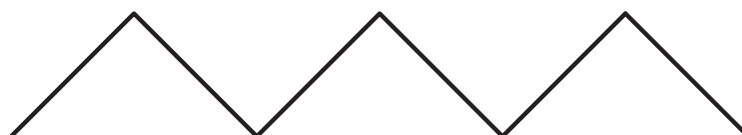
Specifikace vstupních dat: Lomená čára se stejnými délkami hran a stejnými ostrými úhly, viz obr. 4.7

Typ simulované vady: Příliš ostré úhly neboli "zuby", velká míra oscilace.

Zhodnocení experimentu: Úhlové kritérium a kritérium LLR úspěšně detekovala ostré úhly, viz tabulka 4.6. Bohužel, kritérium poměru úhlů selhalo. Tím se objevil jeho fatální nedostatek. Jakmile jsou všechny úhly na lomené čáře stejně velké, toto kritérium selže. Znaménkové kritérium úspěšně odhalilo oscilaci. Obdobně dopadlo i spojnicové kritérium, které ale uspělo pouze při mezní hodnotě 0.75.

Tabulka 4.6: Výsledky experimentu 4.1.5.

Název kritéria	Zachycení vady
Úhlové kritérium	Ano
Kritérium LLR	Ano
Kritérium poměru úhlů	Ne
Kritérium poměru délek	Ne
Vrcholové kritérium	Ne
Znaménkové kritérium	Ano
Spojnicové kritérium	Ano



Obrázek 4.7: Lomená čára pro experiment 4.1.5.

4.1.6 Velká míra oscilace s nerovnoměrnými délkami hran

Specifikace vstupních dat: Lomená čára s různými délkami hran a různými úhly, viz obr. 4.8

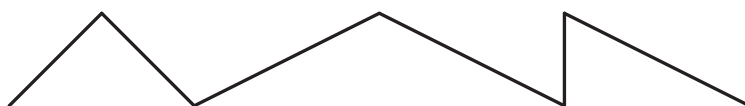
Typ simulované vady: Příliš ostré úhly neboli "zuby", velká míra oscilace, nerovnoměrné délky.

Zhodnocení experimentu: Kritérium poměru úhlů nedetekovalo všechny ostré úhly, na rozdíl od úhlového kritéria a kritéria LLR, viz tabulka 4.7. Kritérium poměru délek také uspělo. Znaménkové kritérium úspěšně odhalilo oscilaci. Spojnicové kritérium neoznačilo lomenou čáru za nevyhovující, protože mezní hodnota byla 0.75 a poměr vyšel 0.75181. Tímto byl odhalen nedostatek, obsažen v tomto kritériu. I přes to, že toto kritérium by mělo být schopno detekovat velkou míru oscilace, nefunguje spolehlivě. Problémem je, že toto kritérium neuspěje, pokud testovaná lomená čára bude rychle oscilovat, bude obsahovat krátké délky hran a bude dostatečně dlouhá, viz obr. 4.9. Pokud budou splněny tyto tři podmínky, výsledný poměr se bude blížit 1. V úvahu připadá možnost posunout hranice intervalu hodnot pro kvalitní vrstevnice. Problém je, že čím více se bude posouvat dolní hranice blíže 1, tím méně bude

toto kritérium efektivní. Lepším řešením je použití znaménkového kritéria.

Tabulka 4.7: Výsledky experimentu 4.1.6.

Název kritéria	Zachycení vady
Úhlové kritérium	Ano
Kritérium LLR	Ano
Kritérium poměru úhlů	Ano
Kritérium poměru délek	Ano
Vrcholové kritérium	Ne
Znaménkové kritérium	Ano
Spojnicové kritérium	Ano



Obrázek 4.8: Lomená čára pro experiment 4.1.6.



Obrázek 4.9: Ukázka lomené čáry s velkou mírou oscilace.

4.1.7 Vrstevnice s výrazným výběžkem

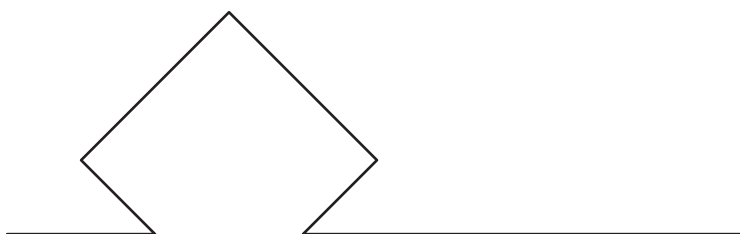
Specifikace vstupních dat: Příímka s výběžkem, viz obr. 4.10

Typ simulované vady: Příliš ostré úhly neboli "zuby", nerovnoměrné délky.

Zhodnocení experimentu: Tento experiment dopadl skoro ve všech ohledech podle očekávání, viz tabulka 4.8. Pouze kritérium poměrů úhlů nedetekovalo všechny artefakty. Nečekaně uspělo i spojnicové kritérium.

Tabulka 4.8: Výsledky experimentu 4.1.7.

Název kritéria	Zachycení vady
Úhlové kritérium	Ano
Kritérium LLR	Ano
Kritérium poměru úhlů	Ano
Kritérium poměru délek	Ano
Vrcholové kritérium	Ne
Znaménkové kritérium	Ano
Spojnicové kritérium	Ano



Obrázek 4.10: Lomená čára pro experiment 4.1.7.

4.2 Reálná data

4.2.1 Vrstevnice s ostrým úhlem

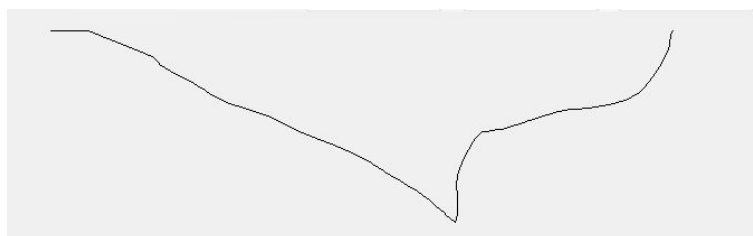
Specifikace vstupních dat: Vrstevnice ze souboru Praha-testy ve výšce 340 s id=4, viz obr. 4.11.

Odhalené vady: Příliš ostré úhly neboli "zuby", velká míra oscilace a nerovnoměrné délky hran.

Zhodnocení experimentu: Experiment dopadl úspěšně, viz tabulka 4.9.. Podle očekávání byl zachycen "zub", dále pak kritérium poměru délek odhalilo nerovnoměrné délky hran na vrstevnici. Navíc znaménkové kritérium odhalilo velkou míru oscilace, která není na první pohled vidět. Což může být do jisté míry nevýhoda tohoto kritéria. Znaménkové kritérium totiž označí za nevyhovující i změny, kterou jsou "malé" a snadno vyhledá.

Tabulka 4.9: Výsledky experimentu 4.2.1.

Název kritéria	Zachycení vady
Úhlové kritérium	Ano
Kritérium LLR	Ano
Kritérium poměru úhlů	Ano
Kritérium poměru délek	Ano
Vrcholové kritérium	Ne
Znaménkové kritérium	Ano
Spojnicové kritérium	Ne



Obrázek 4.11: Reálná vrstevnice pro experiment 4.2.1.

4.2.2 Uzavřená vrstevnice

Specifikace vstupních dat: Uzavřená vrstevnice ze souboru Praha-testy ve výšce 290 s id=1, viz obr. 4.12.

Odhalené vady: Příliš ostré úhly neboli "zuby", velká míra oscilace a nerovnoměrné délky hran.

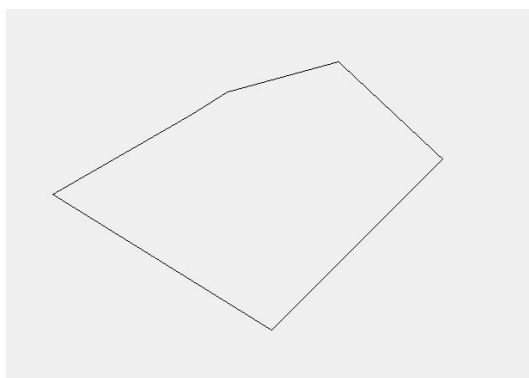
Zhodnocení experimentu: Experiment dopadl podle očekávání, viz tabulka 4.10. Znaménkové kritérium navíc odhalilo oscilaci, která není na první pohled zřejmá.

4.2.3 Vrstevnice s částečnou oscilací

Specifikace vstupních dat: Vrstevnice ze souboru Plzeň-testy ve výšce 199 s id=9, viz obr. 4.13a.

Tabulka 4.10: Výsledky experimentu 4.2.2.

Název kritéria	Zachycení vady
Úhlové kritérium	Ano
Kritérium LLR	Ano
Kritérium poměru úhlů	Ano
Kritérium poměru délek	Ano
Vrcholové kritérium	Ne
Znaménkové kritérium	Ano
Spojnicové kritérium	Ne



Obrázek 4.12: Reálná uzavřená vrstevnice pro experiment 4.2.2.

Odhalené vady: Příliš ostré úhly neboli "zuby", velká míra oscilace a nerovnoměrné délky hran.

Zhodnocení experimentu: Experiment nedopadl podle očekávání, viz tabulka 4.11. Ostré úhly byly detekovány správně, stejně dopadly i nerovnoměrné délky hran, viz obr. 4.13b-c. Bohužel selhalo znaménkové kritérium. Poprvé se zde objevuje důsledek vyhlazení vrstevnic. Tím, že se vrstevnice vyhladí, zvýší se počet vrcholů. Následkem toho je celý průběh vrstevnice jemnější. Tento jev velice komplikuje ohodnocování, viz kapitola 2. V tomto případě není možné úplně správně ohodnotit vrstevnici. Ukázalo se, že v tomto případě funguje spojnicové kritérium, které označí vrstevnici za nevyhovující.

Tabulka 4.11: Výsledky experimentu 4.2.3.

Název kritéria	Zachycení vady
Úhlové kritérium	Ano
Kritérium LLR	Ano
Kritérium poměru úhlů	Ano
Kritérium poměru délek	Ano
Vrcholové kritérium	Ne
Znaménkové kritérium	Ne
Spojnicové kritérium	Ano

4.2.4 Vrstevnice s nezachyceným artefaktem

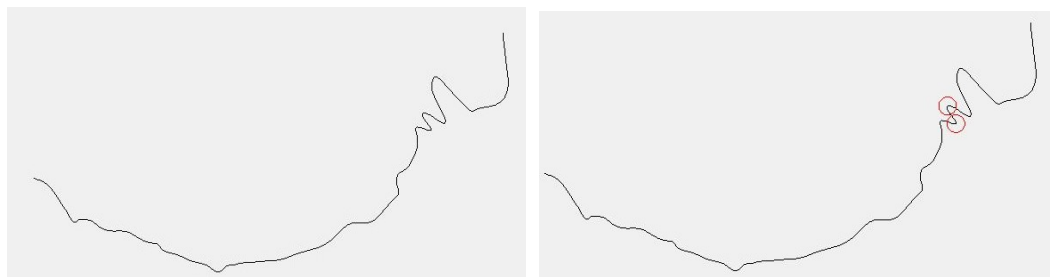
Specifikace vstupních dat: Vrstevnice ze souboru Plzeň-testy ve výšce 198 s id=7, viz obr. 4.14.

Odhalené vady: Příliš ostré úhly neboli "zuby", velká míra oscilace a nerovnoměrné délky hran.

Zhodnocení experimentu: Tento experiment dopadl podle očekávání, viz tabulka 4.12, odhalil však dva problémy. Prvním je, že se zde vyskytl typ artefaktu, který žádné z kritérií nedetekovalo. Jedná se o dvě místa, ve kterých se vrstevnice blíží sama k sobě. Opětovnou komplikací zde způsobuje vyhlazení vrstevnic, které činí problémy správně klasifikovat vrstevnici zejména kritériím detekující ostré úhly.

Tabulka 4.12: Výsledky experimentu 4.2.4.

Název kritéria	Zachycení vady
Úhlové kritérium	Ano
Kritérium LLR	Ano
Kritérium poměru úhlů	Ano
Kritérium poměru délek	Ano
Vrcholové kritérium	Ne
Znaménkové kritérium	Ne
Spojnicové kritérium	Ano



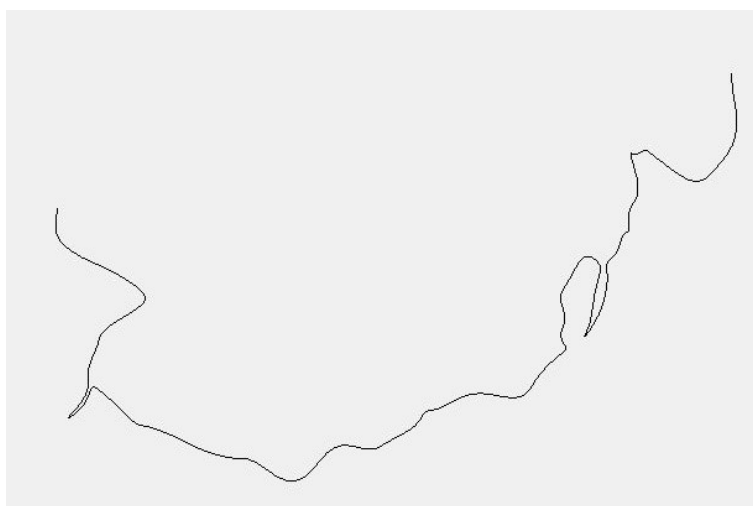
(a) Hodnocená vrstevnice.

(b) Vadná místa podle úhlového kritéria.



(c) Vadná místa podle kritéria poměru délek.

Obrázek 4.13: Ukázka grafických výstupů experimentu 4.2.3



Obrázek 4.14: Reálná vrstevnice pro experiment 4.2.4.

4.2.5 Částečně se překrývající vrstevnice

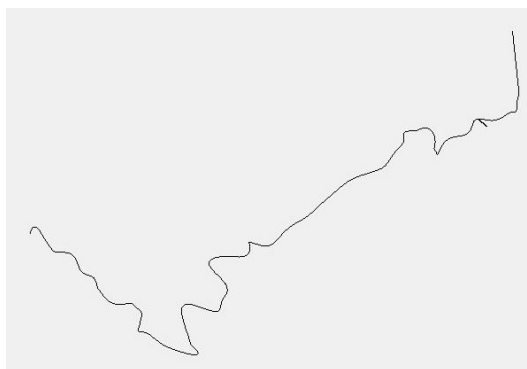
Specifikace vstupních dat: Vrstevnice ze souboru Plzeň-testy ve výšce 201 s id=14, viz obr. 4.15.

Odhalené vady: Příliš ostré úhly neboli "zuby", velká míra oscilace a nerovnoměrné délky hran.

Zhodnocení experimentu: Experiment dopadl opět podle očekávání, viz tabulka 4.13. Znovu se zde projevila absence kritéria, které by zjišťovalo, jestli se vrstevnice neblíží nebo nepřekrývá sama sebe.

Tabulka 4.13: Výsledky experimentu 4.2.5.

Název kritéria	Zachycení vady
Úhlové kritérium	Ano
Kritérium LLR	Ano
Kritérium poměru úhlů	Ano
Kritérium poměru délek	Ano
Vrcholové kritérium	Ne
Znaménkové kritérium	Ne
Spojnicové kritérium	Ano



Obrázek 4.15: Reálná vrstevnice pro experiment 4.2.5.

4.2.6 Hodnocení jednoho souboru

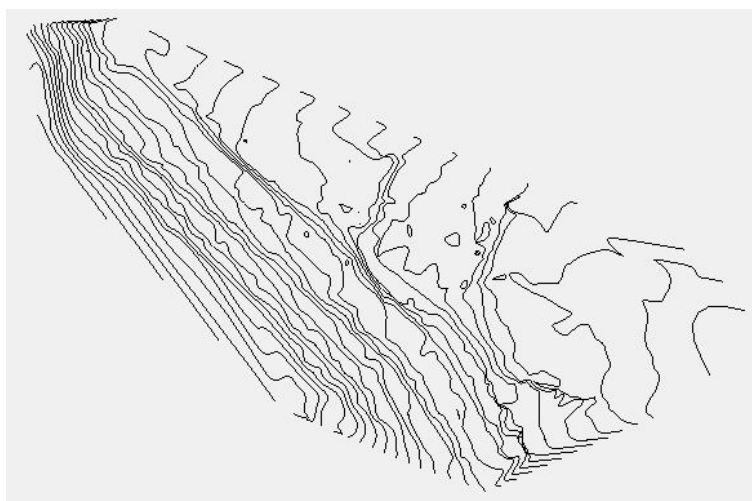
Specifikace vstupních dat: Soubor Plzeň-testy, viz obr. 4.16.

Odhalené vady: Příliš ostré úhly neboli "zuby", velká míra oscilace a nerovnoměrné délky hran.

Zhodnocení experimentu: Pro hodnocení celého souboru byla použita čtyři kritéria, která se na předešlých experimentech osvědčila nejlépe, viz tabulka 4.1. K detekci příliš ostrých úhlů slouží úhlové kritérium a kritérium LLR. Tato dvě kritéria jsou dostačující k odhalení tohoto typu artefaktu a není tedy potřeba používat další. Za účelem odhalení nerovnoměrných délek hran bylo použito kritérium poměru délek, které je schopno tento typ vady spolehlivě detekovat. Velká míra oscilace je detekována pomocí znaménkového kritéria, které oproti spojnicovému kritériu a vrcholovému kritériu dosahovalo nejlepších výsledků. Hodnocení probíhalo pomocí následujícího vzorce:

$$\text{Výsledná kvalita} = 100 - \frac{\text{počet odhalených vad}}{\text{počet všech možných vad}} * 100 \quad (4.1)$$

Výsledná kvalita testovaného souboru vyšla 77,769%.



Obrázek 4.16: Testovaný soubor.

4.2.7 Hodnocení více souborů

Testované soubory: Both, DDT, DT, LT, MinMax, MinMaxG, Random, Weight. Vrstevnice spočítané na různých triangulacích stejné množiny bodů.

Cíl experimentu: Tento experiment si dává za cíl ohodnotit několik vybraných souborů a vybrat z nich ten, který obsahuje nejkvalitnější vrstevnice. Jedná se o vrstevnice botanické zahrady v Troji v Praze.

Výsledky experimentu: viz tabulka 4.15

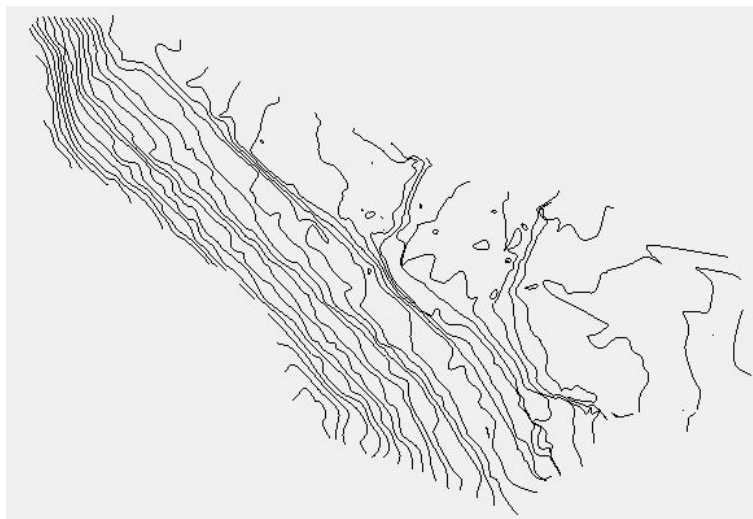
Zhodnocení experimentu: Pro ohodnocení souborů byla použita čtyři kritéria, viz tab. 4.14. Úhlové kritérium a kritérium LLR, kvůli detekci příliš ostrých úhlů. Kritérium poměru délek, které odhaluje nerovnoměrné délky. Znaménkové kritérium, které slouží k zachycení příliš velké míry oscilace. Tento experiment dopadl nejlépe pro soubor DDT, viz obr. 4.17, který podle tohoto hodnocení obsahuje nejkvalitnější vrstevnice ze všech testovaných souborů. Naopak nejméně kvalitní vrstevnice obsahuje soubor LT, viz obr. 4.18. To znamená, že nejlépe dopadla datově závislá triangulace a nejhůře lokálně minimální triangulace. Tento závěr by bylo třeba ještě ověřit na větším počtu různých vstupních dat. Ukázky ostatních testovaných souborů viz příloha A.

Tabulka 4.14: Kritéria použitá pro experiment 4.2.7

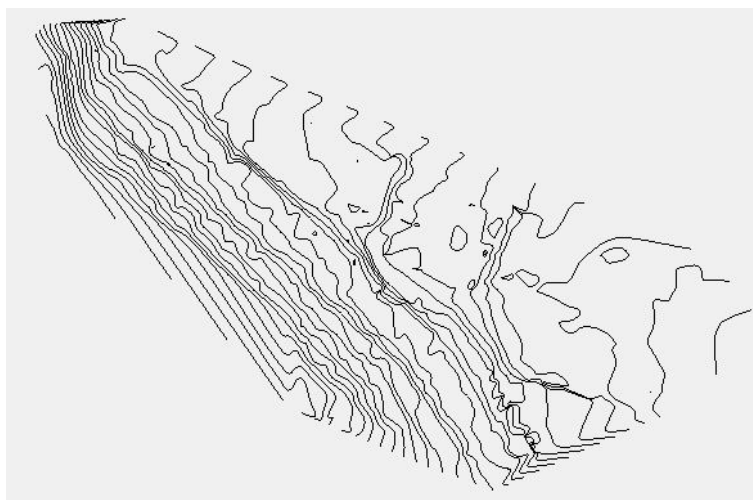
Název kritéria	Interval hodnot pro kvalitní vrstevnice
Úhlové kritérium	$\langle 120, 180 \rangle$
Kritérium LLR	$\langle 1.04, 1.15 \rangle$
Kritérium poměru délek	$\langle 0.75, 1 \rangle$
Znaménkové kritérium	$\langle 0.75, 1 \rangle$

4.3 Zhodnocení experimentů

Z provedených experimentů je patrné, která kritéria se jeví jako spolehlivá. Experimenty, které se týkaly detekce příliš ostrých úhlů, dopadly nejlépe pro úhlové kritérium a kritérium LLR. Na kritériu poměru úhlů se objevilo několik nedostatků včetně jednoho fatálního, viz experiment 4.1.5. Kritérium



Obrázek 4.17: Nejlépe hodnocený soubor vrstevnic.



Obrázek 4.18: Soubor vrstevnic ohodnocený jako nejméně kvalitní.

Tabulka 4.15: Výsledky experiment 4.2.7

Název souboru	Kvalita souboru (%)
Both	77.769
DDT	79.131
DT	77.891
LT	76.283
MinMax	78.355
MinMaxG	77.946
Random	77.894
Weight	78.786

poměru délek uspělo na všech testovaných datech. Co se týká kritérií, která měla za úkol detekovat velkou míru oscilace, dopadlo nejlépe znaménkové kritérium. Toto kritérium hodnotí v určitých případech až moc přísně. Fatální chyba se objevila u spojnicového kritéria, viz experiment 4.1.6. Toto kritérium nebylo schopno zachytit velkou míru oscilace. V těchto experimentech se dále ukázalo, že použití vrcholového kritéria není nijak přínosné. Hlavním důvodem je, že neexistuje spolehlivý způsob, jak nastavit vyhodnocování tak, aby se nemuselo pro každou lomenou čáru upravovat zvlášť. Dále z experimentů vyplynulo, že při přísnějších intervalech hodnot dosahovala kritéria přesnějších výsledků.

Provedené experimenty na reálných datech spíše potvrzují to, co vzešlo z testování na umělých datech. Úhlové kritérium, kritérium LLR, kritérium poměru délek potvrdila svoji spolehlivost. Znaménkové kritérium na datech z UK Praha zachytilo vady, které nejsou na první pohled patrné a data ze ZČU Plzeň jsou vyhlazená, což znemožňuje detekci určitých artefaktů. Naopak spojnicové kritérium ukázalo, že jeho použití právě na vyhlazených datech může být přínosné. Spojnicové kritérium, vrcholové kritérium a kritérium poměru úhlu jen potvrdila, že jejich použití nic použitelného nepřináší.

Intervaly, které se nejvíce osvědčily k hodnocení, jsou uvedeny v tabulce 4.1. Použití těchto intervalů vedlo k zachycení všech simulovaných vad na umělých datech a k odhalení všech na první pohled patrně, viditelných vad na datech reálných.

Experimenty odhalily jeden typ vady, který žádné z kritérií nebylo schopno detekovat. Jedná se o artefakt, kdy se vrstevnice blíží sama k sobě, viz expe-

rimenty 4.2.3 a 4.2.4. Aby bylo možno detekovat tento typ vady, je nezbytné přidat ještě další kritéria. Dále se ukázaly drobné nedostatky kritérií, která mají detekovat ostré úhly. Pokud je např. vrstevnice vyhlazená nebo obsahuje hodně pomalých změn, kritéria selžou.

Povodní záměr byl také zjistit, jaká vliv má rozložení bodů. Bohužel příslušná vstupní data nejsou k dispozici, protože student Schropfer, který je měl v rámci své BP vytvořit, pro nemoc letos podávat práci nebude.

5 Závěr

Tato práce se zabývá vytvořením programu, který bude spolehlivě provádět hodnocení vrstevnic spočítaných na digitálním modelu reliéfu.

Pro vytvoření tohoto programu bylo použito sedm kritérií. Úhlové kritérium, kritérium LLR a kritérium poměru úhlů detekují příliš ostré úhly na vrstevnici. Kritérium poměru délek hledá nerovnoměrné délky hran na vrstevnici. Spojnicové kritérium, vrcholové kritérium a znaménkové kritérium kontrolují, jestli vrstevnice příliš neosciluje.

Implementace a testování všech kritérií probíhala nejprve na umělých datech a poté na skutečných. Ve čtvrté kapitole jsou podrobně popsány provedené experimenty. Na základě testování bylo zjištěno, že kritérium poměru úhlů, spojnicové kritérium a vrcholové kritérium nejsou schopna kvalitního hodnocení vrstevnic, a proto není vhodné jejich využití.

Experimenty dopadly lépe pro úhlové kritérium, LLR kritérium, kritérium poměru délek a znaménkové kritérium. Použití těchto kritérií je podle mého názoru vhodné k hodnocení kvality vrstevnic. Bohužel ani všechna tato kritéria nestačí k dokonalému ohodnocení a je tedy zapotřebí doimplementovat kritéria pro více vrstevnic a přidat ještě několik dalších, což povede k větší přesnosti a celkové správnosti hodnocení.

Literatura

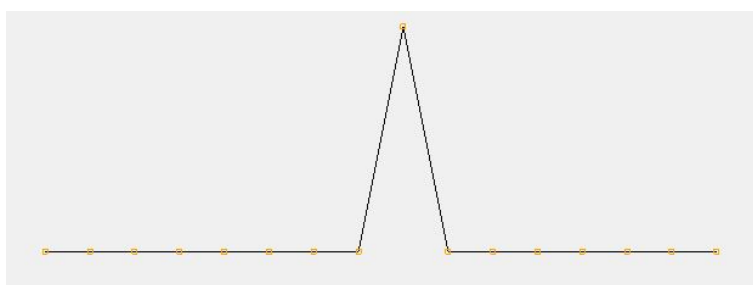
- [1] BAYER, Tomáš. Digitální model terénu botanické zahrady. *Fakulta — Přírodovědecká fakulta UK v Praze* [online]. 2014 [cit. 4. 2. 2014]. Dostupný na WWW: <http://www.natur.cuni.cz/fakulta/aktuality/soubory-aktualit/digitalni-model-terenu-botanicke-zahrady/view>
- [2] ČERMÁK, Pavel. *Výpočet vrstevnic na trojúhelníkové síti*. Plzeň, 2002. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni.
- [3] KRCHO, Jozef. Reliéf ako priestorový subsystém SRF geografickej krajiny a jeho komplexný digitálny model. *Geografický časopis*. 1979, roč. 31, č. 3.
- [4] BAYER, Tomáš. Kartografické generalizační algoritmy. *Fakulta — Přírodovědecká fakulta UK v Praze* [online]. 2010 [cit. 4. 2. 2014]. Dostupný na WWW: <http://web.natur.cuni.cz/bayertom/Adk/adk8.pdf>
- [5] HEROUT, Pavel. Přednášky z OOP. *Fakulta aplikovaných věd: Katedra informatiky a výpočetní techniky* [online]. 2013 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://www.kiv.zcu.cz/herout/vyuka/oop/prednasky/oop-1a4.pdf>

Přílohy

A Ukázky dalších grafických výstupů



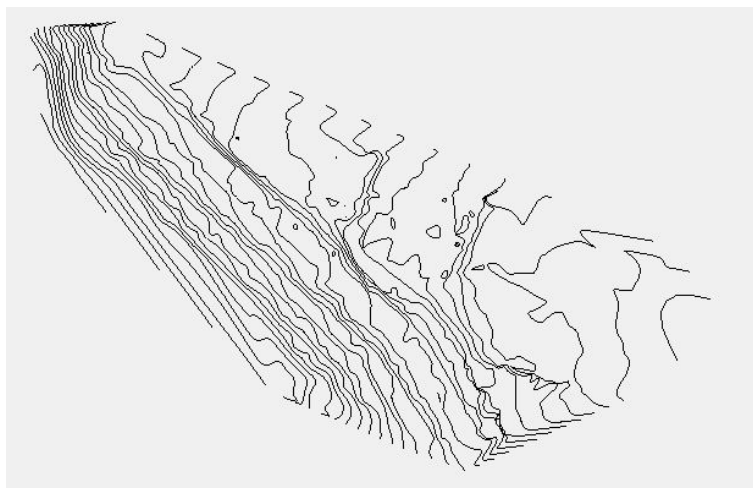
Obrázek A.1: Lomená čára pro experiment 4.1.1, při které neuspěje spojnicové kritérium.



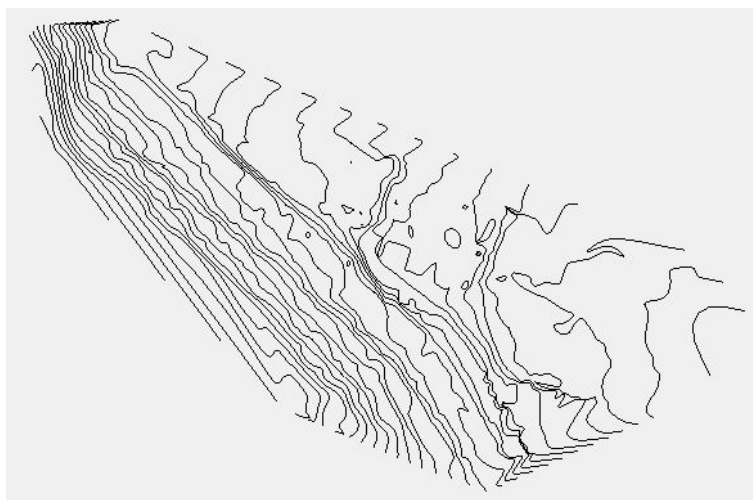
Obrázek A.2: Lomená čára pro experiment 4.1.1, při které neuspěje znaménkové kritérium.



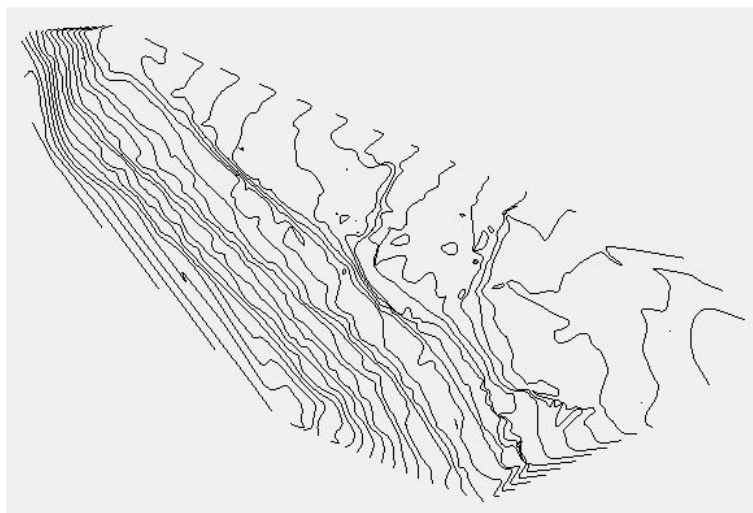
Obrázek A.3: Lomená čára pro experiment 4.1.1, při které neuspěje délkové kritérium.



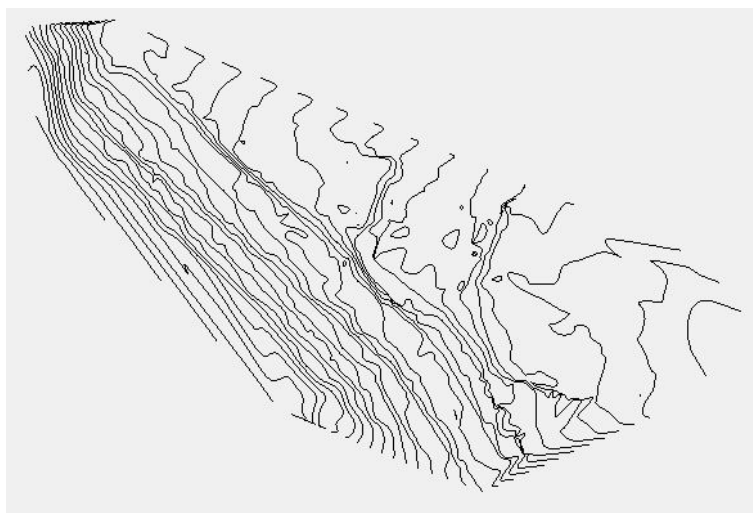
Obrázek A.4: Soubor Both pro experiment 4.2.7.



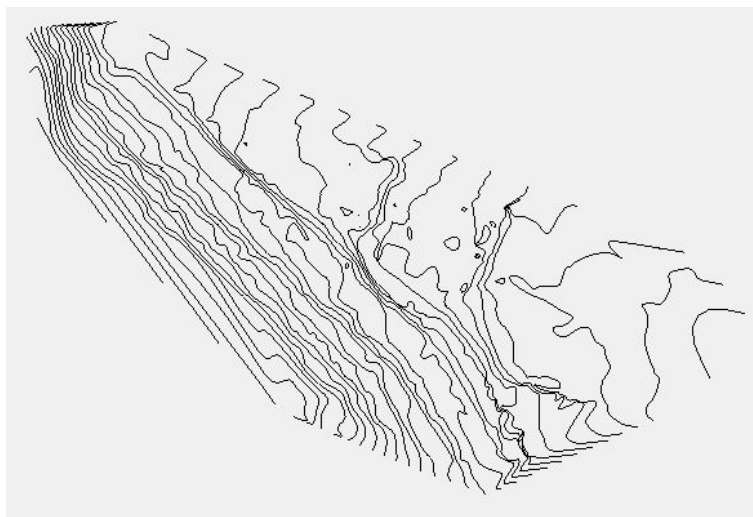
Obrázek A.5: Soubor DT pro experiment 4.2.7.



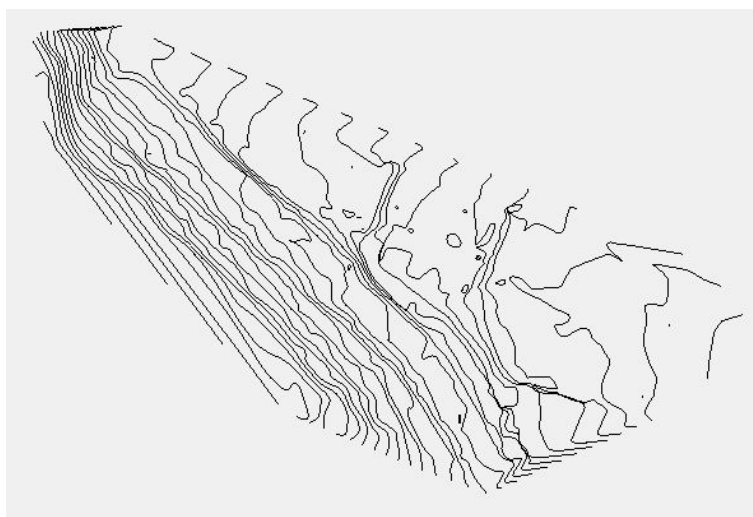
Obrázek A.6: Soubor MinMax pro experiment 4.2.7.



Obrázek A.7: Soubor MinMaxG pro experiment 4.2.7.



Obrázek A.8: Soubor Random pro experiment 4.2.7.



Obrázek A.9: Soubor Weight pro experiment 4.2.7.