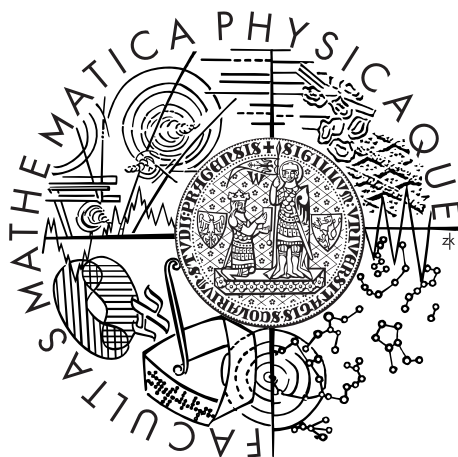


Univerzita Karlova v Praze

Matematicko-fyzikální fakulta

DIPLOMOVÁ PRÁCE



Martin Dobroucký

GPS tracks data processing and visualization

Katedra distribuovaných a spolehlivých systémů

Vedoucí diplomové práce: RNDr. Tomáš Bureš, Ph.D.

Studijní program: Informatika

Studijní obor: Softwarové systémy

Praha 2012

Rád bych poděkoval RNDr. Tomáši Burešovi, Ph.D., za vedení diplomové práce, cenné rady a podnětné připomínky k této práci. Dále bych chtěl poděkovat za podporu a jazykové korektury textu Petře Holasové a v neposlední řadě i své rodině, která mě nejen během psaní této práce maximálně podporovala.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů, literatury a dalších odborných zdrojů.

Beru na vědomí, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorského zákona v platném znění, zejména skutečnost, že Univerzita Karlova v Praze má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle §60 odst. 1 autorského zákona.

V dne

Podpis autora

Název práce: Vizualizace a zpracování GPS záznamů

Autor: Martin Dobroucký

Katedra: Katedra distribuovaných a spolehlivých systémů

Vedoucí diplomové práce: RNDr. Tomáš Bureš, Ph.D.

Abstrakt: Velké rozšíření GPS zařízení schopných zaznamenávat a ukládat trasu pohybu vytváří obrovské množství dat obsahujících široké spektrum informací, které je možné využít k mnoha různým účelům. Typické využití je vykreslení trajektorie trasy, ale to představuje jen nejzákladnější možné využití obsažených informací. Dodatečné zpracování, filtrování a úprava dat může významně obohatit jejich informační hodnotu. Například identifikace a označení významných míst a tras, detekce a odstranění chybných dat nebo zvýraznění průběhu rychlosti nebo nadmořské výšky podél trasy.

Úkolem práce je identifikovat a popsat nejlepší řešení pro zpracování a vizualizaci GPS záznamů tras. To znamená analýzu jednotlivých tras, vzájemné porovnání několika záznamů nebo přehledné zpracování velkých kolekcí dat. Součástí práce je i ukázková implementace navržených postupů.

Klíčová slova: GPS, vizualizace, KML

Title: GPS tracks data processing and visualization

Author: Martin Dobroucký

Department: Department of Distributed and Dependable Systems

Supervisor: RNDr. Tomáš Bureš, Ph.D.

Abstract: The wide spread of GPS devices capable of recording motion tracks has provided a huge amount of GPS track data with lots of information that can be used in various ways. Typical use of the data is to visualize the trajectory, but this is certainly only elementary use of the data. Additional processing, filtering and altering of data can significantly improve their information value. For example identification of popular places or routes, detection and removal of inaccurate parts of tracks, accenting speed or elevation progress on track, etc.

The aim of the thesis is to identify and describe best solutions to process and visualize GPS track datasets. That means analysis of a standalone track, mutual comparison of several tracks or identification of characteristics of a large tracks set. The thesis will include a prototype implementation of selected described methods.

Keywords: GPS, visualization, KML

Obsah

1	Úvod	8
1.1	Cíle práce	9
1.2	Struktura práce	10
2	Existující řešení a technologie	12
2.1	Související aplikace a technologie	12
2.1.1	SportTracks	12
2.1.2	Google Earth	13
2.1.2.1	KML	14
2.1.3	On-line aplikace	14
3	Strategie řešení	16
4	Základní fakta	19
4.1	Základní pojmy	19
4.2	Charakteristika dat	19
4.2.1	Testovací data	20
5	Zpracování dat	22
5.1	Redukce dat	22
5.1.1	Vhodné algoritmy	22
5.1.1.1	Snížení hustoty bodů	23
5.1.1.2	Douglas–Peucker	23
5.1.2	Vlastní vylepšení DP	24
5.1.2.1	Douglas–Peucker - maximální vzdálenost bodů	24
5.1.2.2	Douglas–Peucker 3D - další parametr vzdálenosti	24
5.1.2.3	Douglas–Peucker - počet bodů na trase	25
5.1.2.4	Douglas–Peucker - zrychlení	25
5.1.3	Analýza	25
5.1.3.1	Snížení hustoty bodů	25
5.1.3.2	Douglas–Peucker	26
5.1.3.3	Douglas–Peucker - maximální vzdálenost bodů	26
5.1.3.4	Douglas–Peucker 3D - další parametr vzdálenosti	27
5.1.3.5	Douglas–Peucker - počet bodů na trase	27
5.1.3.6	Douglas–Peucker - zrychlení	28
5.1.3.7	Závěr	29
5.2	Obohacení dat	31
5.2.1	Skoky v trase	31
5.2.1.1	Detekce skoků	33

5.2.1.2	Analýza	34
5.2.2	Zastávky na trase	34
5.2.2.1	Detekce zastávek	35
5.2.2.2	Dynamické slučování	35
5.2.2.3	Analýza	36
5.2.3	Automatické dělení trasy na úseky	38
5.3	Propojení s externími daty	38
5.3.1	Geotagging	38
5.3.2	Výškový profil	39
5.3.3	Reverzní geokódování	39
5.3.4	Návrh podobné trasy	40
6	Vizualizace atributů v průběhu záznamu trasy	41
6.1	Základní řešení	41
6.1.1	2D graf	41
6.1.2	Štítky podél trasy	42
6.2	Vlastní vylepšení	42
6.2.1	2D graf - čas v pohybu	43
6.2.2	2D graf se zarovnáním	43
6.2.3	3D graf	43
6.2.4	Barevný gradient	44
6.3	Analýza	45
6.3.1	2D graf	45
6.3.2	2D graf se zarovnáním	46
6.3.3	Štítky podél trasy	47
6.3.4	3D graf	47
6.3.5	Barevný gradient	48
6.4	Závěr	49
7	Zobrazení a porovnání více tras najednou	51
7.1	Přímé porovnání několika tras	51
7.1.1	Rozlišení tras	51
7.1.2	3D graf	52
7.1.3	Animace pohybu - závodění	53
7.2	Velké kolekce tras	54
7.2.1	Zvýraznění často navštívených úseků	54
7.2.2	Porovnání rychlosti podle úseků	55
8	Zhodnocení	56
8.1	Analýza sportovních výkonů	56
8.2	Dlouhodobý přehled navštívených míst	56
8.3	Záznam fotografického letu	57
8.4	Deník z výletu	58
8.5	Kniha jízd	59
9	Technické řešení - implementace	60
9.1	Struktura programu	60
9.2	Integrace do SportTracks	60
9.3	Integrace pluginu Google Earth do desktopové aplikace	61

9.4	KML	62
9.4.1	LOD - Level of detail	63
9.4.2	Zvýraznění aktivních objektů	63
9.4.3	Barevný obrys trasy	63
9.4.4	Animace - časové značky	64
10	Závěr	65
10.1	Zveřejnění implementace	65
10.2	Budoucí práce	66
	Literatura	69
A	Obsah přiloženého CD	71

Kapitola 1

Úvod

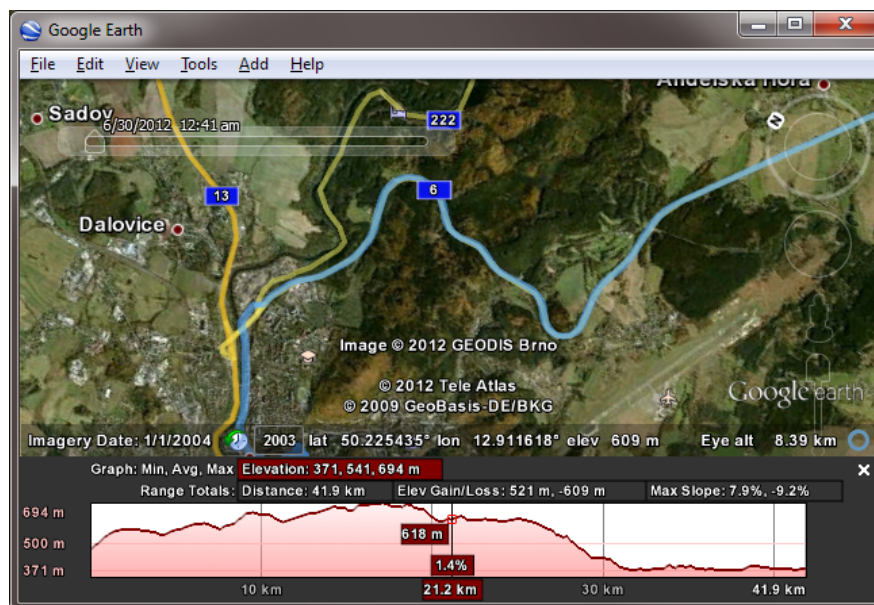
V poslední době došlo k obrovskému rozšíření zařízení umožňujících záznam lokálních dat, převážně s využitím technologie GPS. Jedná se například o chytré telefony vybavené GPS, specializované turistické navigace nebo jednoduchá a levná zařízení určená pouze k záznamu trasy. Tato data zachycují široké spektrum činností a aktivit. Můžou to být silniční trasy získané z navigací do auta, každodenní cesty jednotlivých osob zaznamenané mobilním telefonem, sledování pohybu a migrace zvířat pomocí specializovaných miniaturních zařízení a podobně.

S využitím internetu dochází také ke sběru těchto dat v obrovském měřítku. Ať už se jedná o on-line sledování a záznam polohy s centrálním ukládáním dat nebo o servery, kam uživatelé nahrávají své zaznamenané trasy offline z počítače. Na základě těchto velkých kolekcí dat je pak možné získávat velmi cenné informace jako je dopravní situace na silnicích v závislosti na čase, oblíbené turistické trasy nebo lokality a podobně.

Není těžké nashromáždit velké množství takových dat. Problém je následně získat přehledně požadované informace. S moderním mobilním telefonem je snadné nastřádat kolekci všech výletů, sportovních aktivit či cest do zaměstnání třeba za celý rok. Jak ale rychle zjistit nejčastější nebo nejrychlejší trasy, najít to místo kde jsem se loni na výletě zastavil na výborný oběd nebo jak porovnat sportovní výkony na začátku a na konci sezóny?

Obvyklý způsob, s jakým je možné se setkat u aplikací pracujících s takovými záznamy, je vykreslení linie trasy jako jednobarevné čáry v mapě a případně doplnění základních grafů např. rychlosti nebo nadmořské výšky. Jako příklad neprofesionální aplikace pro práci s geografickými daty lze uvést aplikaci Google Earth (na obrázku 1.1). Takový pohled poskytne pouze základní informaci kudy trasa vedla, případně i průběh rychlosti v čase. Ale neumožní přehledně a bez další interakce s uživatelem zjistit podrobnější informace jako přesnou rychlost a její srovnání v konkrétních místech na trase, zastávky a jiné významné body, rozdělení trasy na úseky a jejich délku a trvání. Není možné přímo porovnat třeba průběh rychlosti při dvou průjezdech obdobné trasy (nestačí vykreslit oba do jednoho grafu, stejný bod na horizontální ose nemusí znamenat stejné místo v mapě).

Názorným příkladem může být analýza záznamu jízdy autobusu nebo vlaku. Pouhým vykreslením do mapy získáme jen obrys trasy, po které se dopravní prostředek pohyboval. Je možné ke každému bodu do mapy připsat třeba aktuální



Obrázek 1.1: Zobrazení trasy v aplikaci Google Earth

rychlost, pak ale mapa ztratí přehlednost a čtení nebo porovnání údajů stejně nebude příliš intuitivní. Detailním zpracováním záznamu už můžeme například detekovat různé významné body nebo naopak úseky méně významné nebo chybně zaznamenané a podle toho přizpůsobit množství a styl zobrazených informací. Např. barevné odlišení rychlosti při kreslení trasy v mapě a označení míst kde se objekt nepohyboval usnadní výrazně hledání příčin možného zdržení nebo kontroly dodržování předepsané rychlosti a povinných přestávek.

Informací, které je možné získat a které může uživatel potřebovat je obrovské množství. Kombinací příliš velkého množství údajů do vizualizace trasy přijdeme o přehlednost. Minimalistickým přístupem můžeme zpřehlednit a zdůraznit vybraný druh dat, ale ztratíme tím jiné informace. Při přidávání dalších informací do vizualizace trasy je potřeba pečlivě volit jejich formu a množství tak, aby neubraly na srozumitelnosti celku. Není snadné zvolit správnou kombinaci tak, aby neutrpěla celková přehlednost a informační hodnota. Nevhodným zvolením příliš velkého množství údajů bude výsledek méně hodnotný než jednoduchá vizualizace s minimem dat. Zřejmě proto autoři aplikací obvykle volí právě minimalistickou, zato maximálně přehlednou variantu.

1.1 Cíle práce

Cílem je maximálně přehledně a s co nejmenšími nároky na uživatele vytvářet vizualizace s co největším množstvím smysluplných informací o prezentovaných GPS záznamech. To znamená vytvořit, identifikovat a zdokonalit algoritmy pro vizualizaci a zpracování záznamů GPS tras. To vše zejména s ohledem na běžného neprofesionálního uživatele.

Práce vychází z postupů jaké se běžně používají v aplikacích pro vizualizaci záznamů z GPS. Cílem je tyto stávající způsoby vylepšit, navrhnout nové postupy a jejich vhodné kombinace. To vše s cílem co nejsnazšího a nejsrozumitelnějšího zpřístupnění informací uživateli, pomocí přehledného zkombinování maximálního

množství informací do jednoho pohledu nebo naopak zdůrazněním vybraných atributů a potlačením méně důležitých.

Řešení těchto cílů konkrétně znamená identifikovat a přizpůsobit vhodné algoritmy v těchto hlavních oblastech:

- Zpracování výchozích GPS dat. Ta mohou obsahovat chyby. Jak chybná data identifikovat a bezpečně odstranit? Někdy je dat příliš mnoho. Například pokud je potřeba zobrazit kolekci záznamů za celý rok, množství dat je však výpočetně příliš náročné a v tomto případě i zbytečné, stačí nám data s menší hustotou bodů, pokud zachovají přibližné linie tras. Je potřeba data efektivně filtrovat, ale přitom je co nejméně zkreslit. Jindy je dat málo a potřebujeme využít související externí zdroje. Například doplnit chybějící výškový profil trasy.
- Některé informace v záznamu nejsou na první pohled viditelné, ale je třeba je vhodnými algoritmy vytěžit a dopočítat. Ještě než začne samotná vizualizace, je tedy potřeba si data řádně připravit. Například najít na trasách významné body, nějak je označit nebo pojmenovat.
- Detailní analýza jedné trasy. Cílem je prezentovat přesný průběh vlastností (rychlost, výška...) trasy přímo v mapě v místech, kde prochází. Rozdělit trasu na úseky a přehledně ukázat jejich délku a trvání. Doplnit informace z externích zdrojů jako poznámky nebo fotografie.
- Přímé srovnání několika záznamů mezi sebou. Obdoba analýzy jedné trasy, ale s kombinací více tras současně do jednoho pohledu s možností přímého vzájemného porovnání. Je třeba je vhodně odlišit.
- Náhled na velkou kolekci dat. Je potřeba zobrazit velké množství tras najednou. Potlačit méně důležité detaily případně zdůraznit společné vlastnosti.

Cílem je navržené postupy implementovat do funkčního celku tak, aby bylo možné je běžně používat při analýze a zpracování záznamů. Cílem je vizualizace integrovat v rámci prostředí aplikace SportTracks¹ a provádět propojením na technologie KML² a Google Earth. U vybraných postupů je výsledkem jejich technická realizace a implementace s výstupem do formátu KML. Implementace je provedena jako zásuvný modul do aplikace SportTracks. Plugin implementovaný v rámci této diplomové práce provádí vizualizaci vybraných záznamů v programu SportTracks generováním reprezentace dat ve formátu KML s možností jejich zobrazení pomocí aplikace Google Earth přímo v prostředí programu SportTracks.

1.2 Struktura práce

Práce je členěna do kapitol podle samostatných tematických celků. V následující kapitole jsou popsány existující řešení zabývající se podobnou problematikou a využití technologie. Ve třetí kapitole je zhruba nastíněn celkový záměr řešení. Čtvrtá kapitola podává popis charakteru dat a základních pojmů, se kterými se pracuje.

¹SportTracks - aplikace pro správu GPS záznamů

²Keyhole Markup Language

Pátá kapitola popisuje možnosti zpracování výchozích dat ještě před samotnou vizualizací. Kapitola šestá se orientuje na vizualizaci jednotlivých záznamů, s důrazem na reprezentaci jejich vlastností podél trasy. Sedmá kapitola je věnována problematice vizualizace většího počtu záznamů najednou.

Osmá kapitola prezentuje výsledky navržených postupů na reálných datech a ukazuje možné způsoby využití v praxi.

V deváté kapitole je popsána implementace a řešení vybraných technických problémů.

Poslední kapitola pak shrnuje celou práci a uzavírá hodnocení dosažených výsledků.

Kapitola 2

Existující řešení a technologie

Tato část pojednává o projektech a aplikacích, zabývajících se zpracováním a vizualizací GPS dat.

Příkladem rostoucího zájmu o tuto oblast je Microsoft Research - Geolife project [7]. Sdružuje aktivity týkající se analýzy a základního zpracování GPS dat. Například automatické získávání informací o uživatelích, oblíbených místech a trasách z nashromážděné databáze záznamů. Na základě těchto dat je pak možné generovat doporučení pro turisty ve vybraných lokalitách [8], detekovat vazby mezi uživateli na základě oblastí jejich pohybu [9] nebo vytvářet detailní charakteristiky uživatele a jeho pohybu [10]. Zajímavé jsou především algoritmy pro prvotní zpracování a filtrování dat [11].

2.1 Související aplikace a technologie

Tato kapitola popisuje několik vybraných aplikací zabývajících se problematikou zpracování a vizualizace GPS záznamů. Dostupné aplikace obvykle poskytují základní statistické údaje a jednoduché vykreslení v mapě. Ty lepší pak přidávají i podrobné grafy nebo dobře udělaný katalog pro správu a filtrování větší sbírky dat. Zásadní problém ale bývá se samotnou vizualizací trasy, která je většinou řešena pouze jako jednobarevná čára v mapě, případně obohacená o několik informačních značek podél trasy.

V následující části je popsáno několik vybraných zástupců aplikací z této kategorie.

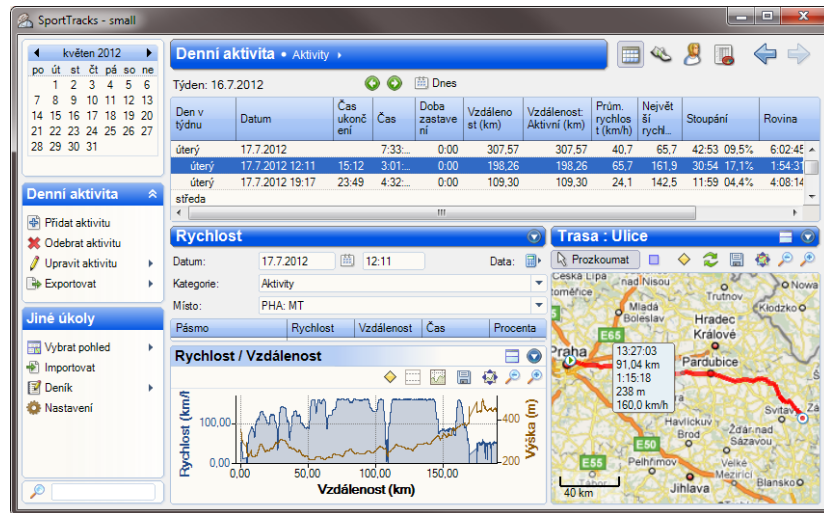
2.1.1 SportTracks

Aplikace SportTracks (obrázek 2.1) je primárně určena jako sportovní deník pro uchování a zpracování GPS záznamů sportovních aktivit. Tomu odpovídá i velké množství prezentovaných statistických údajů a grafů. Umožňuje základní editaci záznamů, jejich popis, štítkování a třídění podle různých kritérií.

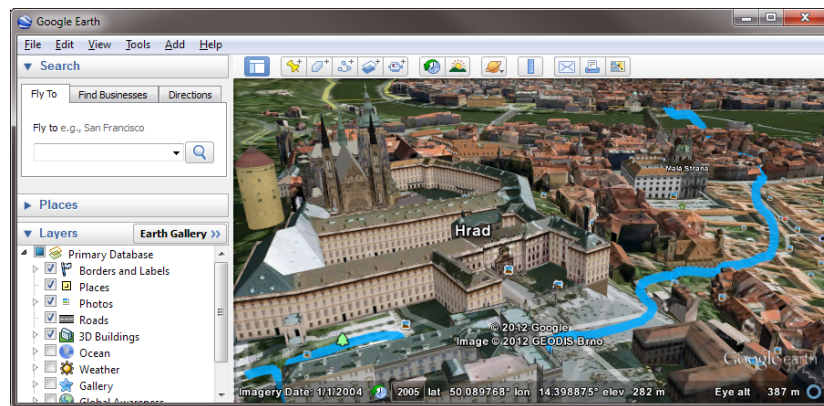
Přes silnou orientaci na sport, je možné ji dobře využít ke zpracování libovolných záznamů GPS jako výletů a běžných aktivit.

Slabší stránkou je pouze prezentace trasy v mapě jako jednoduché jednobarevné čáry.

Základní funkce aplikace jsou dále rozšiřitelné díky otevřenému API a podpoře pluginů.



Obrázek 2.1: SportTracks



Obrázek 2.2: Google Earth

2.1.2 Google Earth

Google Earth je zdarma dostupná mapová aplikace, která zobrazuje zemi jako virtuální 3D glóbus. Při zobrazení zemského povrchu využívá letecké fotografické snímky a 3D výškový model zemského povrchu. Navíc obsahuje velké množství základních vrstev jako administrativní hranice, silnice, 3D budovy a další.

Vedle vlastních vrstev umožňuje zobrazovat i další data včetně záznamů z GPS. Výsledek importu GPS záznamu do Google Earth je možné vidět na obrázku 2.2.

Zobrazení přímo ve 3D terénu a perfektní možnosti prohlížení v Google Earth z něj dělají velmi dobrý nástroj pro analýzu prostorových dat. Bohužel grafická prezentace GPS dat je velmi jednoduchá a zdaleka nevyužívá všech možností aplikace.

Zásadní vlastnosti celé aplikace je perfektní podpora zobrazování a editace datového formátu KML.

2.1.2.1 KML

KML¹ [14] je formát založený na XML, sloužící k popisu základních grafických prvků pomocí geografických souřadnic. Jedná se více méně o vektorový grafický formát, který pro lokalizaci jednotlivých prvků používá souřadnice na zemském povrchu v systému WGS84.

Definice úsečky vykreslené na zemském povrchu ve formátu KML může vypadat například takto:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<kml xmlns="http://www.opengis.net/kml/2.2">
<Document>
  <Placemark>
    <name>Path</name>
    <Style><LineStyle>
      <color>ff7fffff</color>
      <width>5</width>
    </LineStyle></Style>
    <LineString>
      <coordinates>
        9.02275774,49.12673552,0
        26.87803395,50.1707345,0
      </coordinates>
    </LineString>
  </Placemark>
</Document>
</kml>
```

K dispozici jsou základní geometrické prvky, široké možnosti nastavení barev, průhlednosti a další.

Díky tomu se velmi dobře hodí jako cílový formát pro vizualizaci geografických dat.

S KML je možné pracovat nejen v aplikaci Google Earth, se kterou je výrazně spjat už od svého vzniku. Od roku 2007 je to také otevřený standard OGC² a jeho podpora se rozšiřuje i do dalších aplikací.

2.1.3 On-line aplikace

V poslední době se i v této oblasti výrazně prosazují on-line aplikace. Ty si obvykle zakládají na snadném sdílení záznamů mezi uživateli a možnosti prohlížet velké kolekce dat nahromaděných od obrovského počtu uživatelů.

Dobrym příkladem je třeba server GPSies [12]. Ten umožňuje prohlížet záznamy ostatních uživatelů a využít je tak třeba k plánování vlastní cesty. Je ale možné pouze jednoduché vykreslení záznamu v mapě se zobrazením několika grafů a statistických údajů. Server klade důraz zejména na snadné sdílení mezi uživateli a neposkytuje příliš široké možnosti pro detailní analýzu jednotlivých záznamů.

¹Keyhole Markup Language

²Open Geospatial Consortium

Další příklad, tentokrát české služby, je Cykloserver [15]. Umožňuje sdílení záznamů jako tipů na výlet a jejich jednoduché vykreslení v mapě. Bezkonkurenční výhodou, zejména pro českého uživatele, jsou velmi kvalitní podkladové turistické mapy pro Českou i Slovenskou republiku. Jinak jsou možnosti práce s trasou a její vizualizací značně omezené.

Posledním hodnoceným serverem je MTBGuru [16]. Jeho primárním cílem je opět sdílení tras mezi uživateli. Nevýhodou jsou omezené možnosti editace a detailní analýzy tras, jako u ostatních on-line služeb. Mezi on-line aplikacemi však vyniká jednou zajímavou funkcí. Dokáže zobrazit kompletní databázi tras v mapě najednou. A to nejen značku pro každou trasu, ale rovnou celé jejich trajektorie. K tomu využívá technologie Google Fusion Tables [17], což je jednoduchá on-line databáze s podporou geografických dat.

Jako hlavní nevýhody on-line služeb lze označit absenci jakýchkoli výpočetně náročných metod pro zpracování, analýzu a vizualizaci záznamů. To je nejspíš dáno nedostatečným výkonem pro takové výpočty na straně webového prohlížeče, ale i na straně serveru, který musí obsluhovat velký počet uživatelů.

Kapitola 3

Strategie řešení

Prvním krokem této práce je navrhnout vhodné postupy pro vizualizaci GPS záznamů a ukázat jejich přínos na konkrétních případech využití. Další nedílnou součástí je pak jejich implementace a vytvoření funkčního celku, který umožní jejich snadné použití na vlastní kolekci GPS záznamů.

Práce je úzce zaměřená pouze na fázi vizualizace trasy a není jejím cílem vytvořit kompletní řešení pro správu GPS záznamů ani vytvářet grafickou knihovnu pro realizaci samotné vizualizace. K tomuto účelu je využito v maximální míře již existujících technologií.

Nejprve jsou v kapitole 5 rozebrány postupy aplikované ještě před samotnou vizualizací. V první řadě se v části 5.1 jedná o analýzu a návrhy na vylepšení algoritmů pro snížení objemu dat. V další části 5.2 jsou popsány možnosti automatické detekce významných míst a obohacení výchozích dat, včetně možnosti napojení na externí zdroje dat v části 5.3.

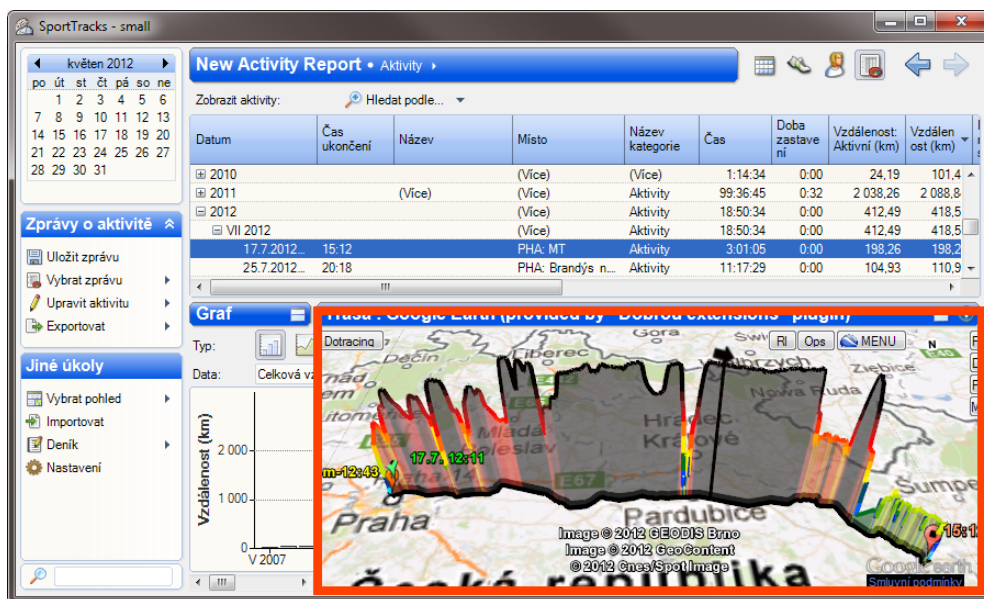
V další fázi jsou v kapitole 6 podrobně rozebrány různé možnosti vizuálního zpracování GPS záznamu. Od jednoduchého grafu se postupuje až k 3D vizualizaci hodnot na trase (viz. sekce 6.2.3) a mapování na barevný gradient (viz. sekce 6.2.4). Vše s cílem názorně zobrazit průběh hodnot zaznamenaných na trase s vazbou k jejich geografické poloze. Na závěr jsou v části 6.3 porovnány možnosti a kvalita jednotlivých metod.

Kapitola 7 přidává do vizualizace větší počet tras najednou. Řeší způsoby jejich rozlišení (viz. sekce 7.1) nebo zdůraznění společných vlastností (viz. sekce 7.2).

Praktické využití popsaných postupů v praxi je pak zhodnoceno v kapitole 8. Na konkrétních příkladech je provedena ukázková analýza vizualizace reálných dat.

Poslední částí je samotná implementace, detailně popsána v kapitole 9. Základním stavebním prvkem celé implementace je aplikace SportTracks ve verzi 2.1. Ta poskytuje uživatelské prostředí pro třídění a správu dat, jak je podrobně popsáno v části 2.1.1. Kromě kvalitních grafů má ale možnosti vizualizace tras v mapě značně omezené. Aplikace však poskytuje API pro připojení samostatných pluginů, a dovoluje tak integraci vlastní knihovny provádějící vizualizaci.

Jako výstupní datový formát vizualizace byl zvolen standard KML, jehož hlavní výhodou je definice grafických prvků přímo pomocí geografických souřadnic. Jeho širší podpora mezi GIS aplikacemi navíc umožňuje další zpracování výstupních dat, dle vůle uživatele.



Obrázek 3.1: Aplikace SportTracks s vizualizací trasy v Google Earth

Vykreslení vizualizace je realizováno pomocí aplikace Google Earth. Zejména pro dobrou kvalitu grafických výstupů a velké množství dalších datových zdrojů, které lze v rámci Google Earth kombinovat. Aplikace navíc dovoluje výsledná data v KML snadno editovat a jednoduše tak umožňuje vizualizaci dodatečně přizpůsobit. V neposlední řadě je výhodou kvalitní API, které celou integraci výrazně usnadňuje.

Implementovaný plugin funguje jako prostředník mezi oběma aplikacemi. Z aplikace SportTracks získá zvolená GPS data a na jejich základě generuje jejich vizualizaci do formátu KML. Výsledek je buď možné exportovat do souboru KML pro další zpracování nebo ihned zobrazovat některým z následujících způsobů.

Integrovaný náhled Výsledek z pohledu uživatele je vidět na obrázku 3.1. Do uživatelského prostředí aplikace SportTracks je v pravé dolní části doplněn pohled na trasu v Google Earth.

Tato varianta poskytuje největší pohodlí při práci s aplikací. Samozřejmostí je provázanost s dalšími prvky aplikace - označení úseku trasy v grafu se promítne v náhledu trasy a naopak, možnost editace trasy přímo v mapovém okně atd.

Menší nevýhodou jsou nedostačující možnosti SportTracks 2.1 API. To například umožňuje dodat vlastní mapový podklad, ale nedovolí mapové okno úplně nahradit vlastní implementací. Pro realizaci kompletní integrace tak je nutné částečně API obejít a dosáhnout požadované funkčnosti pomocí reverzní analýzy kódu aplikace. To sice způsobuje větší závislost na konkrétní verzi aplikace a ztěžuje přechod na verzi novou, ale výsledný užitek z plné integrace a snadné ovládání to plně vynahrazuje.

V této variantě není využita přímo aplikace Google Earth, ale její plugin [18] do webového prohlížeče. Ten nabízí velmi kvalitní API pro práci s obsahem zobrazeného okna. Je však třeba propojit webovou technologii JavaScriptového API pluginu Google Earth s desktopovou aplikací SportTracks. Mapové okno je proto realizováno pomocí komponenty webového prohlížeče, ve kterém už běží samotný

plugin Google Earth.

Velikost generovaných KML dat nedovoluje jejich předávání přímo přes API pluginu a z bezpečnostních důvodů nesmí plugin Google Earth přistupovat přímo na lokální disk. Z tohoto důvodu je součástí implementace i malý webový server, přes který Google Earth plugin získává generovaná KML data.

Samostatný náhled Druhou možností zobrazení je přímý export do aplikace Google Earth, spuštěné v samostatném okně. Plugin udržuje v Google Earth vždy aktuální pohled na právě vybraná data ze SportTracks. Zde už není integrace se SportTracks tak silná a postačí možnosti základního API.

Tento způsob je výhodný zejména při dodatečném zpracování vizualizace, protože je možné ji v Google Earth snadno editovat a kombinovat s dalšími datovými zdroji.

Kapitola 4

Základní fakta

Ještě před rozebráním konkrétních problémů a jejich řešení, tato kapitola popíše základní pojmy a charakter dat, se kterými se v dalších kapitolách pracuje.

Vytváření záznamů lokačních dat by nebylo možné bez systému GPS, případně jeho mladších nebo v budoucnu očekávaných konkurentů GLONASS, Galileo nebo Beidou. GPS je globální navigační systém, který slouží k poskytování přesných informací o poloze objektu na zemském povrchu. Na jeho základě je založena celá řada GPS záznamových zařízení, která dokáží aktuální polohu průběžně měřit a ukládat. Dnes už ke stejnému účelu může sloužit i obyčejný mobilní telefon. Tyto přístroje dovolují snadno nashromáždit velké množství dat. S rostoucím objemem těchto dat roste i náročnost jejich zpracování a analýzy.

4.1 Základní pojmy

Kapitola má za cíl popsat a ujasnit některé základní pojmy, používané v této práci.

GPS trasa je trajektorie složena ze série bodů, zaznamenaných GPS zařízením.

Bod na trase je kolekce základních údajů zaznamenaných GPS zařízením v jeden okamžik. Základní součástí je čas, zeměpisná šířka a délka (udávané v souřadném systému WGS84) a nadmořská výška (v metrech). Součástí mohou být také další informace jako například rychlost. Ty jsou buď do počítané nebo získané z dalších senzorů.

Vizualizace trasy je grafické znázornění průběhu (geografického i hodnot dalších naměřených veličin) záznamu trasy za účelem analýzy vlastností trasy a naměřených hodnot.

4.2 Charakteristika dat

Pro jakékoliv další zpracování je nejdůležitějším faktorem charakteristika vlastních dat získaných z GPS zařízení. Vše určují dvě základní veličiny: čas a vzdálenost.

Výpočet polohy neprobíhá nepřetržitě, ale v pevně daném časovém intervalu. Nejčastěji to je interval o velikosti jedné sekundy. Ve většině případů není potřeba zaznamenat každý bod a kvůli úspoře místa se některé body vynechávají.



Obrázek 4.1: GPS Qstarz BT-Q1000X

V této fázi GPS zařízení nevyužívají žádné sofistikované algoritmy. Běžná GPS zařízení uložení dalšího bodu do trasy obvykle řeší limitem na čas (sekundy) nebo vzdálenost (metry) od posledního zaznamenaného bodu. Při překročení jednoho z limitů přes zadanou hodnotu se bod uloží do trasy. Z toho pak vychází podoba zaznamenaných dat.

Body v záznamu jsou relativně rovnoměrně rozloženy podél celé trasy. V závislosti na nastavení podmínek pro uložení bodu je rozložení času a vzdáleností bodů následující:

- Pouze limit na čas - Čas mezi body je konstantní. Vzdálenosti jsou proměnlivé v omezeném rozsahu daném aktuální rychlostí.
- Pouze limit na vzdálenost - Čas mezi body je proměnlivý opět v omezeném rozsahu podle rychlosti. Vlivem měření pozic v pevně daných časových krocích nejsou ani vzdálenosti konstantní. V závislosti na rychlosti se vzdálenost pohybuje těsně za daným limitem, ale s volbou malého limitu a při velké rychlosti může i výrazně narůst. Například při kontrole pozice každou 1 sekundu a rychlosti pohybu $150\text{km/h} = 41,6\text{m/s}$ ani nepůjde zaznamenat dva následující body blíže než 40 metrů.
- Oba limity - Kombinace obou vlastností, podle toho jaká podmínka způsobila uložení bodu.

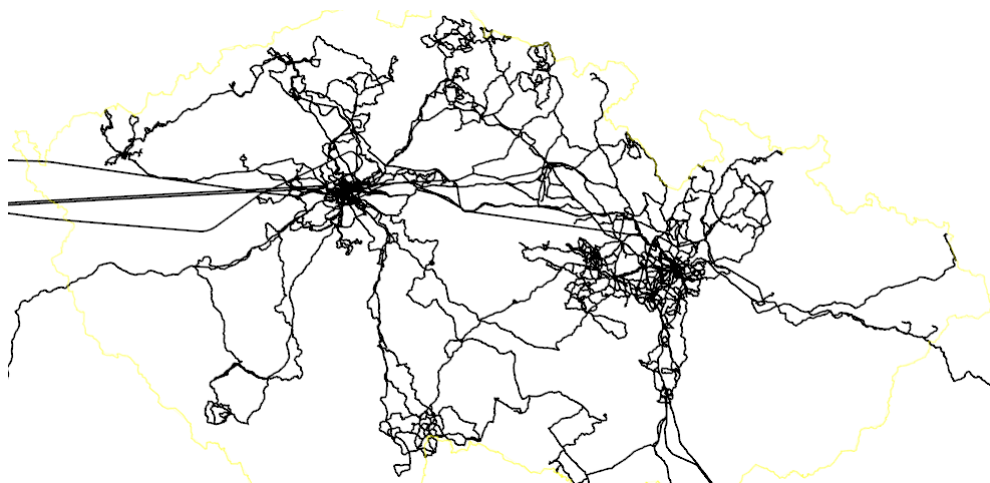
Kromě toho je potřeba počítat s možnými chybami v měření, kdy může vzniknout velké okno bez jakéhokoliv bodu nebo mohou body uskočit na velkou vzdálenost.

Algoritmy a postupy popsané v této práci jsou optimalizovány pro práci s daty odpovídajícími zde popsané charakteristice. Z uvedeného popisu vyplývá že jsou to data do značné míry homogenní.

4.2.1 Testovací data

Všechny popisované postupy jsou hodnoceny a byly průběžně zkoušeny a optimalizovány na vlastní kolekci testovacích dat, jejichž charakteristika odpovídá popisu v minulé kapitole.

Data byla pořízena vlastními silami pomocí zařízení „GPS Qstarz BT-Q1000X“ (na obrázku 4.1) a „Holux M-1000C“. Jedná se o kapesní přístroje, které ihned po zapnutí a získání signálu ukládají trasu do interní paměti (způsobem popsaným v předchozí kapitole) a pro přenos dat do počítače disponují rozhraním USB



Obrázek 4.2: Testovací data GPS

a Bluetooth. Oba přístroje pracují s intervalem kontroly polohy v délce jedné sekundy. V praxi se nejlépe osvědčilo a u většiny záznamů je využito nastavení limitů pro záznam bodu na 10 metrů nebo 10 metrů a 30 sekund.

Data pokrývají období od roku 2008 do roku 2012. Jedná se o všechny běžné aktivity jako cesty do školy, práce, výlety atd. a různé druhy pohybu jako chůze, cyklistika, auto, vlak, loď nebo letadlo. To zahrnuje přibližně 2 tisíce samostatných tras, 90 tisíc kilometrů, 5 tisíc hodin záznamu a přesně 4 238 713 zaznamenaných bodů. To je průměrně jeden bod každých 20 metrů a 2 tisíce bodů na jednu aktivitu.

Pro lepší představu je na obrázku 4.2 vidět jednoduchá vizualizace všech dat pohromadě.

Kapitola 5

Zpracování dat

Čistá data zaznamenaná pomocí GPS nejsou vhodná k přímé vizualizaci. Předtím je potřeba další informace doplnit, dopočítat a pro některé účely i nadbytečné informace odstranit. Je vhodné doplnit statistická data, označení významných bodů a částí trasy a případně propojit další externí data.

Tato kapitola popisuje postupy vhodné pro zpracování vstupních GPS dat ještě před započítáním samotné vizualizace. Jejich cílem je data pročistit, rozšířit a optimalizovat pro další zpracování.

5.1 Redukce dat

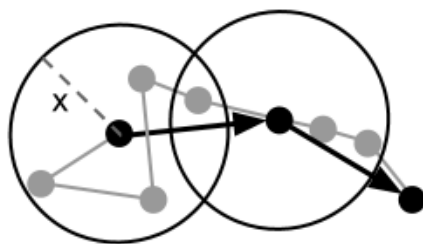
Prvním krokem při zpracování GPS záznamu je jeho pročištění od nadbytečných dat. Pro některé účely dalšího zpracování je hustota dat v původním záznamu příliš vysoká. Průměrná vzdálenost sousedních bodů v záznamu se může pohybovat kolem několika metrů, ale například při vizualizaci náhledu ve velkém měřítku na větší množství záznamů stačí zachovat hustotu bodů mnohem menší. Výsledkem redukce dat je potom snížení časových a paměťových nároků při následném zpracování.

Body ze záznamu je potřeba odstraňovat takovým způsobem, aby se původní trasa co nejméně poškodila. Prvním požadavkem je co nejpřesnější zachování tvaru trajektorie trasy. Další požadavky mohou vycházet z účelu zpracování dat, jako potřeba zachovat plynulý průběh rychlosti nebo nadmořské výšky, aby nedocházelo k příliš velkému zkreslení při vizualizaci těchto hodnot.

Následující sekce popisuje algoritmy vhodné pro zjednodušení záznamu trasy odebráním některých jeho bodů. V další sekci s číslem 5.1.2 jsou pak návrhy na jejich vylepšení a přizpůsobení při použití v této konkrétní oblasti.

5.1.1 Vhodné algoritmy

Možností jak postupovat při snižování počtu bodů v trase je mnoho. Výběr těch nejlepších pak závisí zejména na požadavcích na vlastnosti výsledné redukované trasy. Protože se zde jedná o prostorová data bude i základním požadavkem co nejpřesnější zachování prostorového tvaru trasy.



Obrázek 5.1: Snížení hustoty bodů

5.1.1.1 Snížení hustoty bodů

Jako nejjednodušší způsob se nabízí zvolit vhodný koeficient K a zachovat nebo odstranit každý K -tý bod. Původní trasa se zachová přibližně stejně po celé její délce. Hustota bodů v původních datech ale nemusí být stejná v každé části trasy, bylo by proto vhodné brát v potaz i tento fakt.

Koeficient K tak nebude konstantní, ale proměnlivý podle aktuální vzdálenosti bodů v dané části trasy. Algoritmus dostane na vstupu trasu a vzdálenost x . Každý bod bude schválen a přidán do výsledné trasy, pouze pokud jeho vzdálenost od předchozího schváleného bodu je větší nebo rovna x . Výsledná trasa tak bude mít přibližně stejnou přesnost a hustotu bodů po celé své délce. Názorný příklad je vidět na obrázku 5.1.

V popsané podobě je parametr určen požadavkem, jak moc se může výsledná trasa od původní lišit. Pokud je požadavek spíše na přesnou velikost výstupních dat, není problém odpovídající x odvodit od celkové délky trasy a počtu požadovaných bodů na výstupu.

5.1.1.2 Douglas–Peucker

Předchozí postup bere při posuzování bodu v potaz pouze jeho nejbližší okolí. Příkladem algoritmu, který při posuzování každého bodu zohledňuje celkovou trajektorii trasy, je algoritmus Douglas–Peucker [1] (dále jen DP). DP je obecný algoritmus pro zjednodušení křivky tvořené posloupností bodů redukcí jejich počtu. Je to ověřený a léta používaný algoritmus v kartografických a CAD aplikacích.

Na začátku je třeba zvolit parametr ε (v metrech), který určuje maximální povolenou odchylku od původní trasy a tím i míru redukce trasy.

V prvním kroku se do výsledné trasy zařadí první a poslední bod původní trasy a spustí se vyhodnocení úseku mezi prvním a posledním bodem. Při vyhodnocení úseku mezi dvěma body se nejprve z bodů v tomto úseku vybere kandidát na schválení, neboli bod který je nejvíce vzdálený od úsečky definované mezními body úseku. Jako vzdálenost se uvažuje kolmá vzdálenost bodu od úsečky. V případě že je bod vzdálený méně než ε , vyhodnocení úseku končí.

Pokud je vzdálenost nalezeného bodu větší než ε znamená to, že bez něj by vznikla odchylka od původní trasy větší než dovoluje limit. Tento bod je proto třeba do výsledné trasy zahrnout. Bod se tedy označí jako schválený a rekurzivně se pokračuje v posuzování dvou úseků mezi začátkem úseku a novým bodem a mezi novým bodem a koncem úseku.

Po skončení rekurzivního průběhu algoritmem budou všechny schválené body tvořit novou redukovanou variantu původní trasy. Celá původní trasa bude ležet

v okolí o poloměru ε od trasy redukované [1].

5.1.2 Vlastní vylepšení DP

Tato kapitola popisuje vlastní modifikace a vylepšení popsanych algoritmů, optimalizované pro využití při vizualizaci GPS záznamů.

Obvykle je nutné zachovat prostorový průběh křivky a k tomuto účelu je originální implementace ideální. Někdy je ale potřeba brát ohled i na další vlastnosti, jako třeba průběh rychlosti. Pokud se například auto rozjede a zastaví na rovném úseku trasy, originální implementace DP naprosto eliminuje body s informací o změně rychlosti, protože bere v potaz pouze změnu směru. Řešení takových problémů je cílem úprav popsanych v této části.

Modifikace algoritmu DP budou obvykle založeny na modifikaci podmínky určující schválení bodu.

5.1.2.1 Douglas–Peucker - maximální vzdálenost bodů

Tato úprava rozšíří podmínku o test vzdálenosti mezních bodů posuzovaného úseku. Na velmi rovném úseku generuje algoritmus DP dlouhé skoky mezi sousedními body. Z pohledu tvaru křivky trasy je to naprosto v pořádku, ale při vizualizaci mohou tyto dlouhé přeskoky vadit. Tato modifikace DP takového dlouhé skoky eliminuje.

Vstup algoritmu rozšíříme o další parametr x . Při posuzování každého bodu v úseku ke schválení bude tento bod schválen nejen při splnění původní podmínky s ε , ale navíc i v případě že vzdálenost mezních bodů úseku překročí zadanou hodnotu x .

5.1.2.2 Douglas–Peucker 3D - další parametr vzdálenosti

Předchozí postup už nebude vytvářet nepříjemně dlouhé skoky, přesto stále nebere přímo v potaz průběh dalších atributů trasy.

Vstup algoritmu proto rozšíříme o volbu jednoho atributu trasy. Původní funkce pro počítání vzdálenosti pracuje s jednotkami délky a nový atribut může mít jednotky libovolné. Je tedy nutné zvolit i koeficient K , kterým se hodnoty atributu před výpočtem roznásobí a který určí váhu mezi dodatečným atributem a vzdáleností. Volba hodnoty koeficientu dává možnost zesílit nebo potlačit vliv nového atributu na výsledný tvar trasy.

Je nutné rozšířit funkci pro výpočet vzdálenosti bodu od úsečky mezi krajními body úseku. Původní varianta pracuje v ploše s body o souřadnicích X, Y . Původní geografické souřadnice bodů jsou zde rozšířeny o novou dimenzi Z , která odpovídá hodnotě vybraného atributu v každém bodě vynásobené koeficientem K .

V konkrétní implementaci pak bude volba dodatečného parametru k posouzení odpovídat vybranému vizualizovanému atributu trasy. A například v případě vizualizace pomocí 3D grafu (viz kapitola 6.2.3) je koeficient možné určit automaticky podle předpokládaného výstupního rozsahu hodnot.

5.1.2.3 Douglas–Peucker - počet bodů na trase

Základní varianta DP redukuje trasu podle požadavku maximální odchylky linie redukované trasy od originální. Někdy je ale potřeba zmenšovat trasu na konkrétní velikost (počet bodů) zmenšené trasy. U postupu se snižováním hustoty toho šlo dosáhnout vcelku přímočaře výpočtem vstupního parametru. Algoritmus DP v tomto případě vyžaduje změny o něco větší.

Místo povolené odchylky bude vstupem očekávaný počet bodů výsledné trasy. Změna DP pak spočívá v odlišném přístupu ke zpracování jednotlivých úseků. Po schválení bodu dochází vždy k vytvoření dvou úseků okolo něj, které jsou dále zpracovávány. Tyto úseky zde nebudou zpracovány ihned rekurzivně, jako v původní variantě. Nejprve se v nových úsecích nalezí kandidátní bod s největší odchylkou a každý úsek je ohodnocen touto odchylkou. Pak jsou oba úseky zařazeny do seznamu nezpracovaných úseků. Následně je ze seznamu ke zpracování vybrán úsek s největší odchylkou jeho kandidátního bodu. Protože se do seznamu musí opakovaně vkládat a jediná další potřebná operace je vyzvednutí maximálního prvku, jeví se jako nejlepší volba realizovat seznam pomocí haldy.

Úsek vybraný ze seznamu je opět zpracován. Protože není předem daná odchylka, bod je okamžitě schválen a do seznamu opět přidány 2 nové úseky. Takto se pokračuje dokud se nenaplní předepsaný počet schválených bodů.

Na konci je schválen potřebný počet bodů a ty tvoří výslednou trasu.

5.1.2.4 Douglas–Peucker - zrychlení

Algoritmus DP při hledání nejvychýlenějšího bodu každého úseku musí projít všechny body v tomto úseku. Zrychlení za cenu snížení přesnosti lze dosáhnout následující úpravou. Navrhovaná úprava je zvolit vhodnou konstantu K a při procházení bodů v úseku posuzovat pouze K bodů v každém úseku. Tyto body se vyberou rovnoměrně po celé délce úseku.

Při posuzování prvních dlouhých úseků na začátku běhu algoritmu bude výběr posuzovaných bodů relativně řídký, ale taky rychlý. Postupným zmenšováním úseků k velikostem blízcím se parametru K zůstane výběr stejně přesný jako v původní variantě.

5.1.3 Analýza

Cílem této části je zhodnotit výše zmíněné algoritmy zejména v souvislosti s vizualizací GPS záznamů a navzájem je porovnat.

5.1.3.1 Snížení hustoty bodů

Hlavní výhodou je rychlost zpracování a jednoduchá implementace. Při zpracování je každý bod zkontrolován právě jednou a asymptotická časová složitost v průměrném i nejhorším případě je tak rovna $O(N)$ podle počtu bodů v trase.

Na celkovou míru redukce a zachování tvaru trasy má samozřejmě zásadní vliv zvolený koeficient hustoty bodů. Ten je třeba vždy volit na základě potřebné velikosti výsledných dat nebo předpokládaného měřítko zobrazení výsledné trasy a podle požadavku na podobnost s původní trasou.

S ohledem na následnou vizualizaci trasy je pozitivní rovnoměrné rozložení bodů výsledné trasy, které zvláště při vynášení dalších atributů v trase zachová dobře informaci o průběhu trasy a jejích vlastnostech. Nevýhodou je že výběr bodů nijak nezohledňuje tvar trasy a dochází tak ke značnému zkreslení hlavně zakřivených úseků. Jak je názorně vidět na obrázku 5.6, kde originální červené trasy byly snížením hustoty bodů redukovány na černé.

5.1.3.2 Douglas–Peucker

Algoritmus bere ohled zejména na prostorový tvar křivky trasy a také její podobu perfektně zachovává. Při vhodné volbě meze ε na základě měřítka zobrazení lze dosáhnout zásadního snížení počtu bodů při perfektním zachování tvaru redukované trasy. Menší nevýhodou základní varianty pak je nemožnost přímo stanovit výsledný počet bodů.

Dalším problémem, vycházejícím z podstaty algoritmu, je příliš agresivní redukce bodů na dlouhém rovném úseku. Z pohledu tvaru křivky je to naprosto v pořádku, ale při následné vizualizaci může vzniknout problém. Například při vizualizaci rychlosti podél trasy vznikne nepříjemná mezera bez dat. Řešení nabízejí popsané úpravy s 3D variantou nebo maximální vzdáleností bodů.

Asymptotická časová složitost tohoto algoritmu, vzhledem k počtu bodů na trase, odpovídá v průměrném případě $O(N \cdot \log N)$ [2] a v nejhorším $O(N^2)$ [2]. Což vzhledem k relativně omezenému počtu bodů v jednotlivých trasách není velký problém. Velká kolekce dat může obsahovat i velký počet bodů, ty ale budou rozděleny do jednotlivých tras s řádově menší velikostí a na ně se DP bude aplikovat samostatně. Kvadratický čas v nejhorším případě se tak výrazně neprojeví.

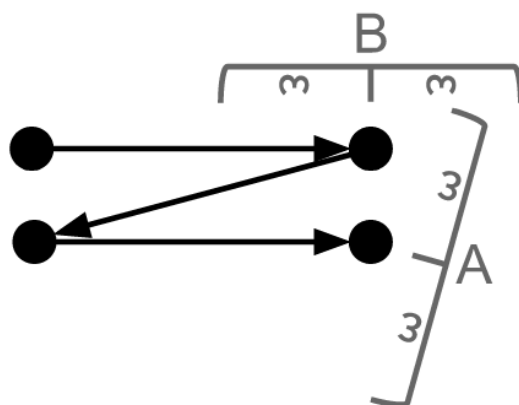
V případě potřeby je pak možné využít navržené zrychlení v kapitole 5.1.2.4 nebo aplikovat zrychlení využívající konvexní obal ke zlepšení časové složitosti i v nejhorším případě na $O(N \cdot \log N)$ [3].

Skutečná časová složitost v konkrétním případě nejvíce závisí na počtu bodů výsledné redukované trasy a tedy na hodnotě meze ε . To vychází z principu algoritmu - budování výsledné trasy postupným přidáváním bodů. Čím více bodů v trase zůstane, tím déle bude výpočet trvat, protože každý bod je třeba zvlášť přidat. V extrémním případě nebude schválen už první kandidát a algoritmus se ukončí ihned po schválení dvou krajních bodů.

V případech, kdy dochází k redukci malého počtu bodů by tak mohla pracovat rychleji obrácená varianta. Z celé trasy postupně odebírat vždy bod s nejmenší odchylkou od úsečky mezi jeho sousedy, dokud existuje odchylka menší než daná mez ε . Tento obrácený postup však může generovat mírně jiné výsledky než originální varianta. V ukázkové trase na obrázku 5.2 ponechá původní DP pouze první a poslední bod. Prostřední body se totiž vejdou do pásu v okolí spojnice krajních bodů, v obrázku označené písmenem A. Při obráceném postupu nebude třetí bod trasy odebrán, protože leží mimo povolené okolí spojnice jeho sousedních bodů, v obrázku označené písmenem B.

5.1.3.3 Douglas–Peucker - maximální vzdálenost bodů

Řeší problém vytváření dlouhých mezer na rovném úseku. Funguje přesně podle očekávání a nedovolí vytvořit příliš dlouhé úseky a zachová rovnoměrnější distri-



Obrázek 5.2: DP pozpátku

bučí bodů podél trasy. To ovšem za cenu zachování více bodů a snížení účinnosti redukce trasy.

Asymptotickou časovou složitost původního DP tato úprava nijak neovlivní, jedná se pouze o jeden další test při schvalování bodů.

5.1.3.4 Douglas–Peucker 3D - další parametr vzdálenosti

Pokročilejší způsob řešení problému velkých mezer mezi body na rovném úseku. Navíc dokáže brát v úvahu i hodnoty atributu trasy, který se má vizualizovat a jehož průběh je třeba zachovat co nejpřesněji.

Ve výsledku je vyšší přesnost také vykoupena vyšším počtem bodů v redukované trase. To je však možné kompenzovat vhodnou volbou koeficientu pro dodatečný parametr a příslušným vyvážením meze ε , kdy lze zachovat výsledný počet bodů za cenu mírného zvětšení odchylky redukované trasy od původní.

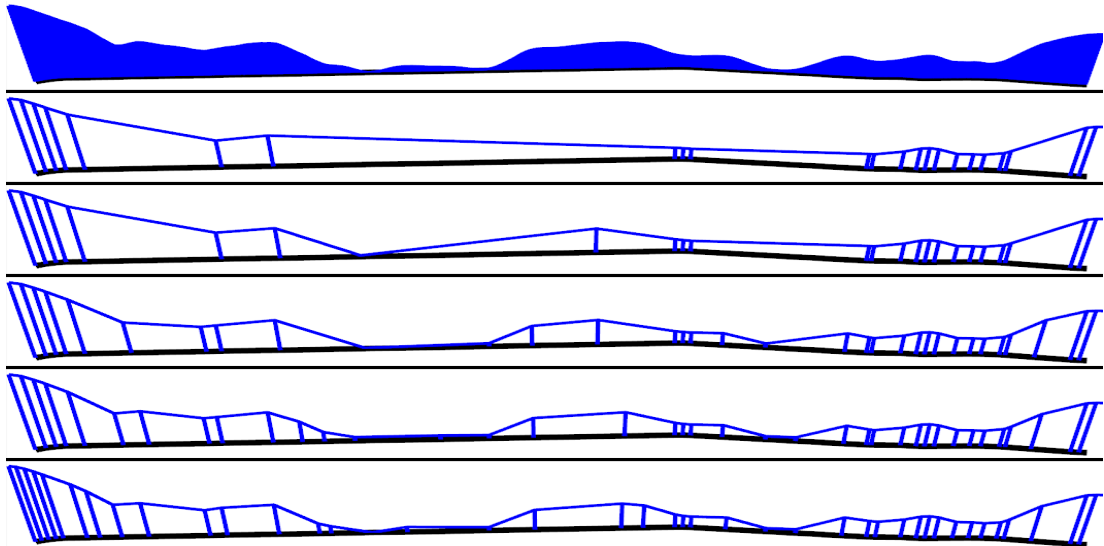
Zásadním krokem je volba správné hodnoty koeficientu. Ta je však velmi specifická a závislá na mnoha faktorech a záměrech vizualizace. Je potřeba zvážit vzájemný vztah mezi rozsahem hodnot dodatečného atributu a způsobem jeho vizualizace i velikostí a tvarem samotné křivky trasy.

Na obrázku 5.3 je vidět ukázkový příklad vlivu hodnoty koeficientu na výsledný průběh trasy. Grafy znázorňují průběh nadmořské výšky v rozsahu cca 200 až 250 metrů na velmi rovném úseku trasy. První graf je originální trasa dlouhá 26 kilometrů složená ze 772 bodů. Druhý graf je trasa po redukci základním DP s parametrem $\varepsilon = 10m$. Následují varianty DP 3D se stejným $\varepsilon = 10m$ a koeficientem rovným postupně $K = 1$, $K = 2$, $K = 4$, $K = 8$. Počet bodů ve výsledné trase je pro základní variantu DP roven 24 a se zvyšujícím se koeficientem K roste postupně k hodnotám 26, 34, 39 a 42. Jak je vidět, při zvoleném měřítku zobrazení, už při koeficientu $K = 2$ je průběh nadmořské výšky zachován vcelku věrně a redukce bodů (na počet 34) je stále velice dobrá.

Asymptotickou časovou složitost původního DP tato úprava nijak neovlivní, jedná se pouze o složitější výpočet při určení odchylky bodu.

5.1.3.5 Douglas–Peucker - počet bodů na trase

Tato úprava přidává do algoritmu DP možnost přímo určit velikost výstupních dat.



Obrázek 5.3: Redukce trasy - DP 3D srovnání vlivu koeficientu na dodatečný parametr (originál, 0, 1, 2, 4, 8)

Pro porovnání výsledku se standardním DP je třeba sledovat největší odchylku bodu v úseku mezi všemi úseky vybranými z fronty v průběhu celého výpočtu. Tato maximální odchylka odpovídá parametru ε ze základní varianty DP. Redukovaná trasa se stejně jako v základní variantě v každém svém bodě od původní liší maximálně o ε .

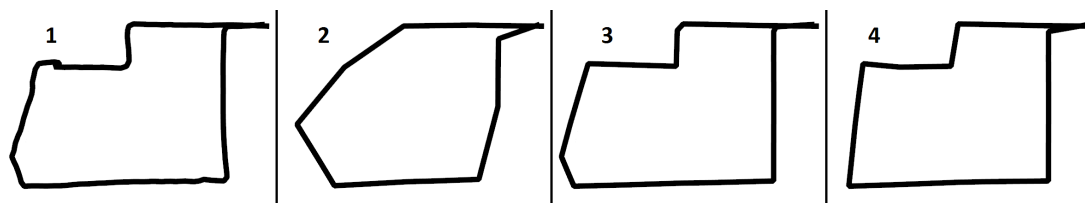
Výsledek je tedy přesně stejný jako spuštění základní varianty s touto hodnotou ε . Základní varianta by zpracovala přesně stejné úseky, jen v jiném pořadí. Ty které zbyly v haldě mají menší odchylku než ε , takže by je nezpracovala ani základní varianta. A o těch zpracovaných platí to stejně přesně naopak.

Stinnou stránkou je menší snížení rychlosti v důsledku nutnosti použití haldy pro správu seznamu úseků ke zpracování. Asymptotická časová složitost ale zůstane přesto zachována. Přibude pouze čas potřebný na údržbu haldy. I v nejhorším případě, kdy zůstávají v redukované trase všechny body, projde haldou za každý bod redukované trasy právě jeden úsek. Takže počet vložení i odebrání prvku na haldě bude maximálně $O(N)$. Ze stejného důvodu bude halda obsahovat maximálně $O(N)$ bodů a například s binární haldou bude vložení i odebrání trvat $O(\log N)$. Celkový čas maximálně potřebný navíc pro obsluhu haldy je tedy $O(N \cdot \log N)$, což původní asymptotickou časovou složitost DP nijak nezhorší.

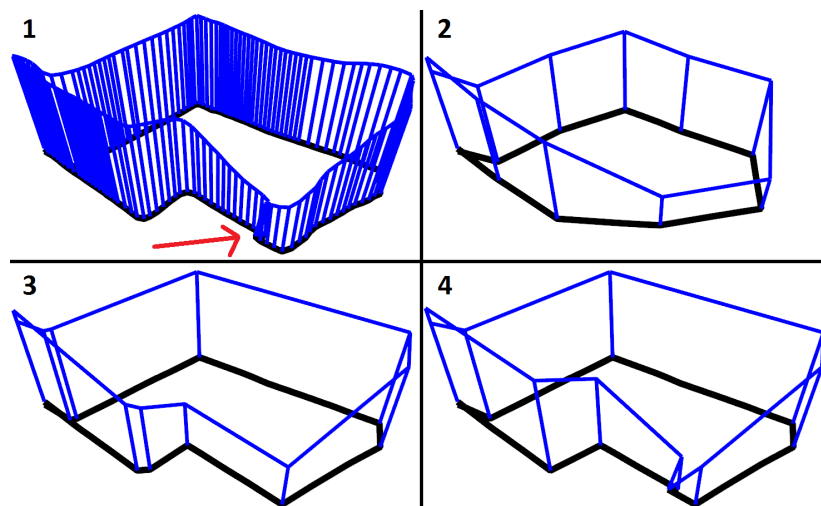
5.1.3.6 Douglas–Peucker - zrychlení

Navrhovaná úprava sice nijak nezlepšuje asymptotickou časovou složitost, ale i až K -násobné zrychlení může být v praxi k užítku. Zdůvodnění principu tohoto zrychlení vychází ze specifické podoby GPS záznamů tras.

Protože pohyb každého objektu na zemi je spojitý a relativně plynulý, je i linie bodů v GPS záznamu spojitá a plynulá. To znamená že sousední body v záznamu jsou si velice blízké. Takže pro každý bod bude i jeho sousedních K bodů (které jsou v trase právě před ním nebo po něm) v jeho blízkém okolí, tedy budou vykazovat podobnou odchylku při hledání nejvíce vychýleného bodu v úseku. Při měření odchylky jednoho bodu v úseku lze předpokládat že okolních



Obrázek 5.4: Redukce trasy - srovnání (originál, snížení hustoty, DP, DP 3D)



Obrázek 5.5: Redukce trasy - srovnání 3D graf rychlosti (originál, snížení hustoty, DP, DP 3D)

K bodů by při hodnocení odchylky dopadlo prakticky stejně.

S využitím předchozího pozorování pak při zvolení dostatečně malé konstanty K nedojde k zásadnímu zkreslení výsledné trasy a zpracování každého úseku bude až K -krát rychlejší.

5.1.3.7 Závěr

Názorná srovnání jednotlivých algoritmů ukazují obrázky 5.4 a 5.5. Pro usnadnění porovnání výsledků jednotlivých algoritmů jsou všechny trasy redukovány na stejný počet bodů. Parametry ukázkových tras z obou obrázků jsou následující:

1. Originální trasa - dlouhá 1700 metrů se skládá ze 133 bodů.
2. Snížení hustoty bodů - s parametrem hustoty 150 metrů výsledným počtem bodů 11.
3. DP - pro účely názorného porovnání varianta s pevným počtem 11 bodů.
4. DP 3D - opět zjednodušení na 11 bodů. Do počítání odchylky bodů je navíc zahrnuta i aktuální rychlost. Pro tento konkrétní případ s koeficientem 10. (Pro účely srovnání koeficient zvolen na základě několika pokusů a zvolení nejlepší varianty.)

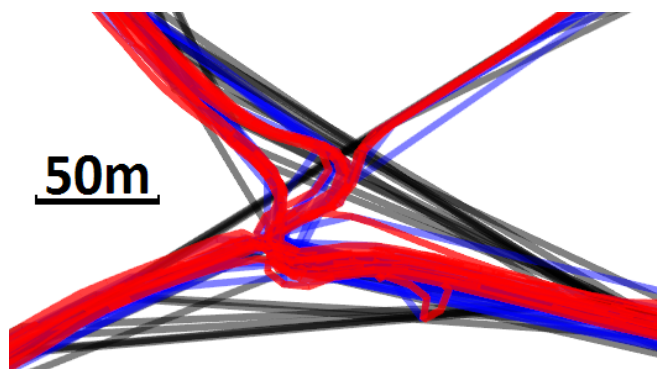
Obrázek 5.4 srovnává podobu výsledného tvaru trasy:

1. Originální trasa

2. Snížení hustoty bodů - oproti ostatním výrazně mění tvar výsledné křivky.
3. DP - i při takto výrazné redukci zachovává velmi věrně původní tvar křivky.
4. DP 3D - mírně horší výsledek než samotný DP, hlavně kvůli orientaci na hodnoty dodatečného parametru, který se v tomto zobrazení nepromítne.

Na obrázku 5.5 je možné srovnat vliv redukce trasy na výslednou vizualizaci rychlosti podél trasy. Rychlost je vynesena jako 3D graf nad trasou.

1. Originální trasa - šipkou dodatečně zvýrazněný bod označuje pro lepší názornost místo, kde rychlost klesla na nulu.
2. Snížení hustoty bodů - nezachovává přesně ani průběh trasy ani hodnot rychlosti.
3. DP - tvar trasy je zachován výborně. Průběh rychlosti je značně zkreslený v oblastech kde dochází ke větším změnám a hlavně se úplně ztratila informace o zastavení.
4. DP 3D - zachovává dobrou podobu tvaru trasy a díky zohlednění dodatečného parametru při redukci jsou lépe zachovány i výkyvy v rychlosti. Nejlépe je to vidět v okolí vyznačeného místa, kde rychlost klesla na nulu.



Obrázek 5.6: Redukce trasy - srovnání více tras

Výsledek redukce na velkém vzorku dat ukazuje obrázek 5.6. Jedná o výřez malé části dat při vysokém přiblížení v okolí křižovatky a kruhového objezdu. Barevně jsou odlišena data:

- Červená - originální data. Celkový počet bodů 438112. Délka 6537 kilometrů.
- Modrá - DP s parametrem $\varepsilon = 15m$. Celkový počet bodů snížen na 20362 (5%). Délka klesla na 6473 (99%).
- Černá - snížení hustoty na $x = 285m$. Celkový počet bodů snížen na 20366 (5%). Délka klesla na 6154 (94%).

Jak je z uvedených údajů a obrázku 5.6 vidět, při přibližně stejné míře redukce bodů kopíruje DP originální data výrazně přesněji a umožňuje tak přesné zobrazení i s větším přiblížením.

Zajímavý je i vliv na celkovou délku tras. Odstraňováním bodů a tím i částečným narovnáním tras se celková délka samozřejmě snižuje. Při stejné míře redukce dat zde při použití DP dochází ke snížení o pouhé 1% oproti hodnotě 6% u algoritmu snížení hustoty.

Přes všechny klady je základní algoritmus DP oproti „Snížení hustoty bodů“ pomalejší a trpí některými nedostatky, zejména při vizualizaci na rovných úsecích. Ovšem po vyřešení těchto nedostatků a jeho částečným zrychlením s pomocí navrhovaných úprav je možné ho velmi dobře využít pro zpracování dat před vizualizací GPS záznamů. Při vhodné volbě parametrů lze dosáhnout značné redukce dat při zachování dobré vizuální podoby trasy.

5.2 Obohacení dat

Základní data GPS záznamu obsahují pouze kolekci bodů, z nichž každý má nějaké prostorové souřadnice a čas. Dodatečným zpracováním těchto dat můžeme filtrovat a detekovat různé významné vlastnosti nebo části těchto tras. Jejich další zpracování a doplnění do vizualizace trasy zvýší její informační hodnotu pro uživatele a podá lepší přehled o celém záznamu.

Tato kapitola navrhuje a popisuje postupy pro transformaci základních dat a možnosti vytěžení dalších informací, které jsou užitečné při následné vizualizaci.

5.2.1 Skoky v trase

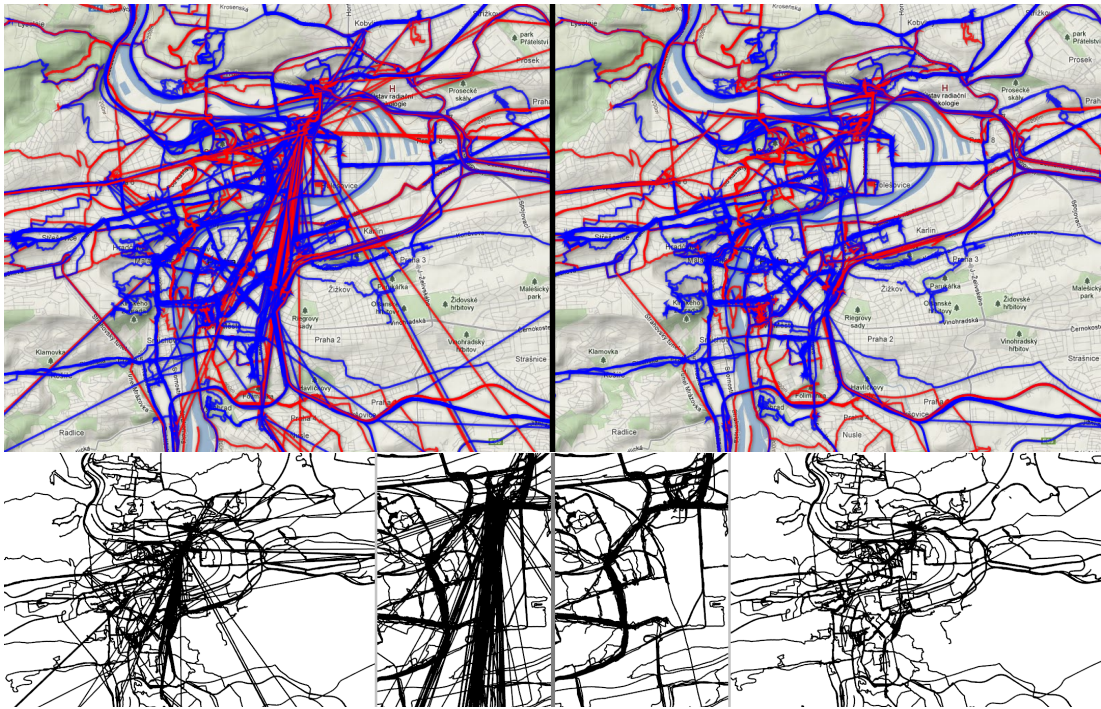
V mnoha případech může docházet k dlouhým přeskokům mezi body v trase. To bývá způsobeno zejména ztrátou signálu GPS na delší dobu nebo dočasným vypnutím zařízení. V trase pak vzniká dlouhý rovný skok mezi velmi vzdálenými body, který při vykreslení v mapě vede jako přímka místy kde se zaznamenávaný objekt vůbec nemusel nacházet.

Při zobrazení malého počtu tras to nemusí být výrazný problém, tam se několik málo takových úseků ztratí. Ale při zobrazení velké kolekce záznamů, třeba za období několika let, vykreslení těchto skoků značně znepráhlední situaci. Jak je vidět na levé straně ukázky na obrázku 5.7. Při současném zobrazení velkého počtu tras takové přeskoky značně znepráhledňují vizualizaci. Navíc velmi zkreslují situaci, protože vytváří dojem že sledovaný objekt se pohyboval i v oblastech, které vůbec nemusel navštívit.

Při vizualizaci většího počtu záznamu je vhodné takové skoky detekovat a přizpůsobit jejich zobrazení. Buď je alespoň částečně potlačit nebo úplně vynechat jako v pravé části obrázku 5.7.

Podle příčiny vzniku lze skoky rozdělit do následujících kategorií:

1. Skok po trase - příčinou je dočasná ztráta GPS signálu nebo vypnutí zařízení během pohybu. Vznikne například při průjezdu tunelem. Úsečka mezi body bude procházet přibližně podél skutečné trasy. Vykreslení tohoto skoku do mapy je vhodné potlačit pouze při vizualizaci velkého počtu záznamů.



Obrázek 5.7: Detekce skoků - vlevo originální data, vpravo bez vykreslení skoků

2. Skok bokem - nastává v případě náhlé změny kvality signálu a následně výrazné chybě v měření pozice. Úsečka mezi body je potom úplně mimo skutečnou trasu. Často se stává při vstupu do budovy nebo při prvotním získávání polohy po zapnutí GPS. Tento skok je pouze chyba v měření a je vhodné ho vůbec nevykreslovat, případně na jeho základě detekovat chybné body a ty odstranit. S tím je ale problém, protože není jisté který konec skoku je ten chybný. Skok totiž mohl vzniknout i zpřesněním pozice po lepším zaměření signálu.
3. Skok na další aktivitu - obdoba skoku po trase, ale v tomto případě už se na začátku a konci skoku jedná o jinou aktivitu. Jeden den ukončí uživatel záznam cesty doma a druhý den zapne GPS znovu až v práci. Opět je dobré tento skok do mapy nekreslit, protože úsečka mezi body nebude odpovídat trajektorii pohybu. Navíc je v případě takového skoku možné navrhnout automatické rozdělení na dvě trasy.

Na základě obsahu testovacích dat lze říct, že takových skoků bývají v GPS záznamu řádově jednotky, ale někdy se nemusí vyskytnou žádný.

Při rozhodování zda se jedná o skok je velmi důležitý způsob záznamu trasy. Následující postup předpokládá obvyklý způsob záznamu bodů, kdy GPS zařízení ukládá pozici vždy po překročení dané časové nebo délkové vzdálenosti od posledního uloženého bodu (jak je popsáno v kapitole 4.2). Tyto hodnoty v záznamu pak sice stejně nejsou konstantní, ale body jsou alespoň do určité míry rovnoměrně rozloženy podél trasy.

5.2.1.1 Detekce skoků

Jako skok v trase můžeme chápat spojnicí dvou sousedních bodů, které jsou od sebe příliš vzdáleny. Není ale možné jednoduše určit pro skok nějakou pevnou mezní vzdálenost, protože každá trasa může mít výrazně jinou hustotu záznamu. Jiná bude při záznamu bodu každých 100 metrů a jiná při záznamu každou vteřinu. Navíc bude závislá i na tom jestli se jedná o chůzi nebo třeba jízdu autem.

Základní měřitelné veličiny mezi dvěma body jsou jejich vzdálenost v metrech, rozdíl v čase a z nich odvozená rychlost. Porovnáním velikosti těchto veličin mezi konkrétními dvěma body vůči hodnotám v celé trase lze výše popsané druhy skoku popsat takto:

1. Skok po trase - Vzdálenost i časový rozdíl jsou řádově větší než jinde na trase. Pokud by byl velký například jen časový rozdíl, jedná se spíš o zastávku.
2. Skok bokem - Extrémně vysoká rychlost. To znamená velká vzdálenost a malý nebo průměrný časový rozdíl. GPS se snaží korigovat pozici a přesunuje se nepřírozeně rychle.

Ze série hodnot u zmíněných veličin je potřeba určit anomálně vysoké hodnoty a na jejich základě detekovat skoky. Výběr anomálií by měl samozřejmě produkovat co nejméně chybných hlášení a nepůsobit falešné označení většího množství bodů, u kterých se o skok nejedná. Například v záznamu pěšího výletu nesmí eliminovat krátký úsek jízdy autem.

Prahová hodnota

Jako nejjednodušší možnost se nabízí vybrat malé procento nejvyšších hodnot. Anomálie se ale v trase nemusí vyskytovat pokaždé a příliš často by tak docházelo falešnému označení skoku.

Lepší řešení je na základě všech hodnot určit prahovou hodnotu H , která od povolených hodnot oddělí pásmo anomálií.

Z charakteristiky GPS dat vyplývá, že hodnoty veličin se budou pohybovat v okolí hodnot daných podmínkami při záznamu v GPS. Anomální hodnoty pak budou řádově větší. Jako prahová hodnota H se proto stanoví K násobek aritmetického průměru všech hodnot. Hodnota K je nový parametr detekce. Protože se má jednat o řádově větší hodnoty, doporučená hodnota se může pohybovat okolo $K = 10$.

V situaci, kdy se vyskytne více anomálií, z nichž jedna bude extrémně větší než ostatní, může ovšem tato největší anomálie příliš zvednout průměr a zamezit tak detekci menších anomálií. Původní průměr se proto ještě předefinuje jako aritmetický průměr P všech hodnot pod prahem H . Potom platí následující rovnice:

$$P = \frac{\sum_{x_i < H} x_i}{\sum_{x_i < H} 1}, \quad H = K \cdot P$$

Zbývá už jen vypočítat průměr P ze všech hodnot menších než H . Z prvotního průměru všech hodnot se postupně odebírají hodnoty od nejvyšší, dokud



Obrázek 5.8: Detekce skoků - jízda vlakem (skoky modrou barvou)

nejsou všechny zbývající hodnoty v průměru menší než H . Průměr P a práh H se samozřejmě po každém odebrání snadno přepočítají započtením příslušného zlomku odebraného čísla. K rychlé implementaci výpočtu stačí setřídít všechny hodnoty v poli v klesajícím pořadí a brát hodnoty po jedné zleva dokud nepřijde na řadu číslo menší než H .

Asymptotická časová složitost detekce $O(N \cdot \log(N))$ odpovídá složitosti nejnáročnějšího kroku, kterým je setřídění hodnot. Je ovšem možné dosáhnout složitosti lineární při využití předpokladu, že anomálních hodnot bývá maximálně několik jednotek a provádět tak opakovaně výběr maxima z pole hodnot bez třídění. Lépe řečeno rovnou při průchodu polem odebrat všechny hodnoty větší než je aktuálně práh H .

5.2.1.2 Analýza

V praxi se pro jediný parametr, který tato metoda nabízí, osvědčila doporučená hodnota $H = 10$. Výsledek při extrémním množství skoků v jedné oblasti je vidět na obrázku 5.7, kde je příčinou častá ztráta signálu v metru. Naprostou většinu rušivých skoků se podařilo odstranit. Běžnější je daleko menší výskyt skoků jako na obrázku 5.8, kde se vyskytují podél jízd vlakem. I tady by kvalitě výsledné vizualizace prospělo skoky odstranit.

V pročištěných datech je i nadále možné najít delší rovný úsek, ale to je dáno především odlišným charakterem některých záznamů s nízkou hustotou bodů, ve kterých se nejedná o skok a bylo by proto zavádějící tento úsek odstranit.

V některých případech může být výhodnější detekované skoky neodstraňovat úplně, ale jen potlačit jejich viditelnost. Neztratí se tak informace o přesunech mezi dotčenými lokacemi.

Použití detekce skoků k odstranění dlouhých úseků viditelně přispělo ke zpřehlednění výsledné vizualizace. Přitom se detekce zvládne přizpůsobit i u trasy zaznamenané s neobvykle vysokou vzdáleností mezi body.

5.2.2 Zastávky na trase

Nejdůležitější na každé cestě bývá její cíl nebo cíle a v každém takovém cíli se obvykle cesta alespoň na chvíli zastaví. Popisem těchto zastávek a cílů je pak možné jednoduše a dobře charakterizovat i celou cestu. Primární účel detekce zastávek je zvýraznění a označení těchto míst (třeba i s využitím dalších postupů

jako reverzní geokódování v části 5.3.3) tak, aby se vytvořil co nejlepší přehled o celém záznamu.

Pro další statistické zpracování se kromě toho běžně mimo celkového času počítá také celkový čas v pohybu, více vhodný pro výpočet průměrné rychlosti.

Další využití detekovaných zastávek je automatické pročištění dat. Pokud jedna zastávka obsahuje více bodů rozestých po blízkém okolí, obvykle se jedná pouze o nepřesnosti při měření. I když se GPS zařízení delší dobu nehýbe, vlivem průběžných změn v kvalitě přijímaného signálu dochází k malému „poskakování“ bodů po okolí. V daleko větší míře k tomuto dochází třeba při vstupu do budovy, kde se příjem signálu zhorší ještě více a poloha a zaznamenané body se tak mohou vychýlit i o mnoho desítek metrů. Takové body jsou jednak zbytečné, k uchování potřebné informace stačí jen první a poslední bod během pauzy, ale navíc zkreslují výpočet celkové vzdálenosti trasy. V závislosti na délce pauzy a kvalitě signálu mohou takto uměle přibýt i desítky až stovky metrů. Také zastávky detekované na úplném začátku a konci záznamu je většinou možné automaticky odstranit a zpřesnit tím skutečný čas strávený na trase.

To vše může fungovat o to lépe automaticky a snáze pro uživatele o co lépe funguje samotná detekce. Zvlášť pak u automatických korekcí dat můžou omyly v detekci velmi uškodit. Následující sekce popisuje, jak takovou detekci provádět s co nejmenší mírou chybovosti.

5.2.2.1 Detekce zastávek

Algoritmus detekce zastávek vyžaduje několik základních parametrů. Prvním a nejdůležitějším je prahová rychlost R (v metrech za sekundu), která rozhoduje kdy už se o zastávku jedná. Pro aplikaci parametru je důležitá hodnota rychlosti v každém bodě. Ta je už buď součástí dat nebo se dopočítá z rozdílů vzdálenosti a času mezi bodem a jeho předchůdcem. V první fázi se jako zastávka označí všechny body s rychlostí menší než R . Zastávky na bodech, které spolu přímo sousedí, se přitom rovnou slévají do větších úseků přes více bodů.

V druhém kroku se uplatní další parametr - slučovací časová vzdálenost S (v sekundách). Jsou sloučeny všechny sousední zastávky, které jsou od sebe vzdáleny méně než S sekund. Slučovací vzdálenost je možné aplikovat i v metrech. Potom se porovnává vzájemná vzdálenost dvou zastávek, což je vzdálenost v metrech od posledního bodu dřívější zastávky k prvnímu bodu pozdější zastávky. Počítá se přímá vzdálenost bodů, ne vzdálenost po trase. Slučování umožní spojit i zastávky oddělené několika výrazně vychýlenými body (viz. zhoršení signálu v budovách výše).

V další fázi se aplikuje poslední parametr - minimální trvání T (v sekundách) a odstraní se všechny zastávky trvající méně než T sekund. Eliminují se tím příliš drobná zastavení jako čekání na semaforech a podobně.

5.2.2.2 Dynamické slučování

Při zobrazení zastávek v mapě u trasy je třeba ještě vyřešit problém proměnlivého měřítká pohledu na trasu. Například v situaci kdy v záznamu je detekováno několik zastávek v rámci jednoho města. Z důvodu aby při velkém přiblížení byla každá zastávka vidět jednotlivě a v opačném případě aby se několik značek nepřekrývalo na jednom místě, ale sloučilo se do jedné.

Postup slučování bude následující. Každá zastávka bude navíc obsahovat informaci v jakém rozmezí měřítka mapy se má zobrazovat. Na začátku se všechny zastávky dají do seznamu ke zpracování. Z něj se pokaždé vybere sousední dvojice s nejmenší vzájemnou vzdáleností, ze které se vyrobí nová sloučená zastávka. Podle vzdálenosti zastávek se nastaví minimální viditelnost sloučených a maximální viditelnost nově vytvořené zastávky. Ze seznamu ke zpracování se dvě již sloučené zastávky odeberou a na jejich místo se vloží nová. Toto se opakuje dokud není seznam ke zpracování prázdný.

Aby se z trasy nakonec nevytvořila jedna velká zastávka, je slučování navíc vhodné omezit tak, že sloučení je povoleno jenom u zastávek ve stejné oblasti. To znamená vzdálených jen do určité hranice (řadově větší než parametr S) nebo ležících v lokalitě se stejným názvem (viz. reverzní geokódování v kapitole 5.3.3).

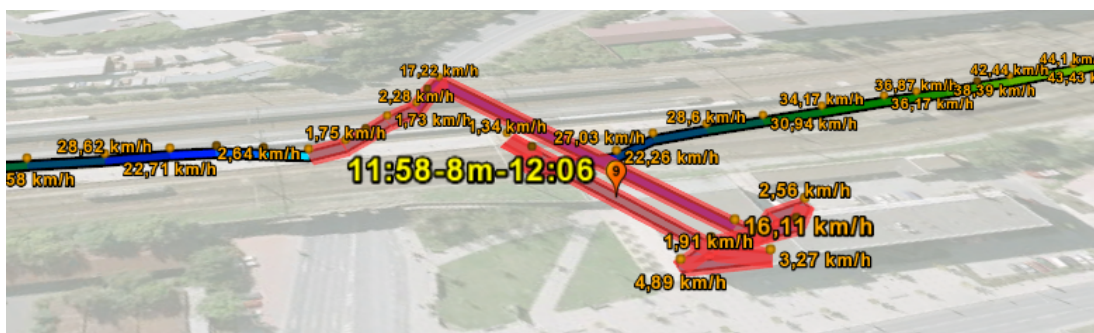
Na první pohled se může zdát jednodušší počítat viditelnost až na základně aktuálního měřítka při zobrazení vizualizace. V některých případech je ale potřeba generovat předem všechna data, nezávisle na budoucím způsobu zobrazení (viz. generování KML v část 9.4).

5.2.2.3 Analýza

Detekce zastávek poskytuje dobrou informaci o struktuře trasy a navštívených místech. Základem dobrého výsledku je pouze vhodná volba vstupních parametrů R, S, T . Ta je ovšem jenom těžko měřitelná a je závislá ve značné míře i na typu dat a záměrech analýzy trasy. Na základě dlouhodobého testování se záznamy všech běžných aktivit (chůze, kolo, vlak, auto...) se osvědčily následující hodnoty:

- Prahová rychlost $R = 0.5km/h$. Dostatečně velká pro zahrnutí i drobného „skákáni“ vlivem signálu. Dostatečně malá aby nevznikaly falešné pauzy např. při pomalé chůzi. Pokud je jisté že se v datech nevyskytuje pomalý pohyb jako chůze, osvědčilo se použití vyšší hodnoty $R \simeq 3km/h$.
- Slučovací čas $S \simeq 40s..100s$ i vzdálenost $S \simeq 40m..100m$. Dobře funguje při slučování zastávek přerušovaných velkým skokem při zhoršení signálu. Hodí se jako doplněk i k dynamickému slučování, aby nedocházelo k přílišnému rozdrobení velmi blízkých zastávek v jednom místě.
- Minimální trvání $T \geq 60s$. Zde záleží nejvíce na účelu analýzy záznamu. Například při detekci zastávek vlaku je nutná hodnota v řádu desítek sekund. Při vizualizaci záznamu pěšího výletu je pak výhodnější i několik desítek minut. Stejně tak při jízdě autem může být požadavek na detekci každého zastavení na semaforech nebo naopak jen na delší pauzy.

Výsledek detekce je vidět na obrázku 5.9. Jedná se o detail při přestupu na nádraží z delšího záznamu jízdy vlakem. Úsek trasy označený jako zastávka je vyznačen červeně a popsán časovou značkou. Parametry detekce jsou v tomto případě $R = 0.5km/h$, $S = 40m.$, $T = 60s$. Fakticky se jedná o dvě menší zastávky. Jedna po vystoupení z vlaku a druhá na jiném nástupišti při čekání na další vlak. Vlivem zhoršení signálu a chyby v měření polohy je mezi nimi vidět i výrazný úskok stranou. Při analýze trasy je přehlednější takoveto velmi blízké zastávky vždy sloučit. Automatická detekce pak v tomto místě vyhodnotila jednu zastávku, která přesně reprezentuje čas strávený na nádraží.



Obrázek 5.9: Detekce zastávek



Obrázek 5.10: Slučování zastávek podle měřítka

Aplikaci dynamického slučování ukazuje obrázek 5.10. Zde ve variantě s omezením podle názvu města. Při blízkém pohledu na trasu vlevo na obrázku je vidět podrobné rozdělení času stráveného v různých částech města. Na pravé straně slučování splnilo svůj účel a místo několika překrývajících se značek je vidět souhrn pro celé město.

Využití detekce zastávek ve větším měřítku je vidět na obrázku 5.11, který zobrazuje záznam z cesty vlakem a jízdu zpět na kole. Samotná vizualizace trasy naznačí rozdělení úseků. Ale až doplnění detekovaných zastávek poskytuje navíc perfektní přehled o průběhu výletu jako o místě a čase čekání na vlak, odpočinku, oběda atd.

Automaticky detekované zastávky ve vizualizaci trasy významně zlepšují porozumění o časovém průběhu trasy a jejímu rozdělení do samostatných úseků.



Obrázek 5.11: Detekce zastávek - výlet vlakem a na kole



Obrázek 5.12: Přiřazení geografických souřadnic z trasy fotografiím

5.2.3 Automatické dělení trasy na úseky

Čistá data z GPS je před analýzou potřeba utřídit a zpracovat. Jedním z potřebných kroků je rozdělení dlouhých záznamů na jednotlivé aktivity nebo úseky, přiřazení do kategorií a podobně. Aplikace toto obvykle automaticky řeší na úrovni vzdálenosti dvou sousedních bodů. Při překročení určitého prahu času nebo vzdálenosti mezi dvěma sousedními body se navrhne rozdělení do samostatných úseků.

Právě k tomuto účelu pak jdou dobře využít výše navržené postupy pro detekci skoků a zastávek. V závislosti na očekávaném druhu aktivit je třeba nastavit vhodné limity pro oba algoritmy a to výrazně vyšší než se běžně použijí při vizualizaci pro nalezení těchto míst v rámci jednoho záznamu trasy. Je pak například možné detekovat mnohahodinovou pauzu mezi dvěma aktivitami i když mezitím zůstala GPS zapnutá.

5.3 Propojení s externími daty

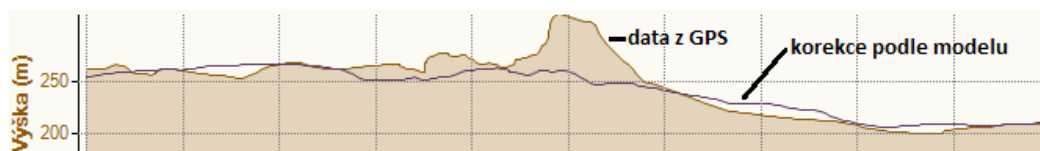
Zaznamenaná prostorová data mohou získat nový rozměr při vhodném propojení s dalším zdrojem dat. K tomu je možné využít časové nebo prostorové souřadnice každého bodu a trasy. Tato část popisuje způsoby propojení a zdroje dat vhodné pro obohacení vizualizace GPS záznamů.

5.3.1 Geotagging

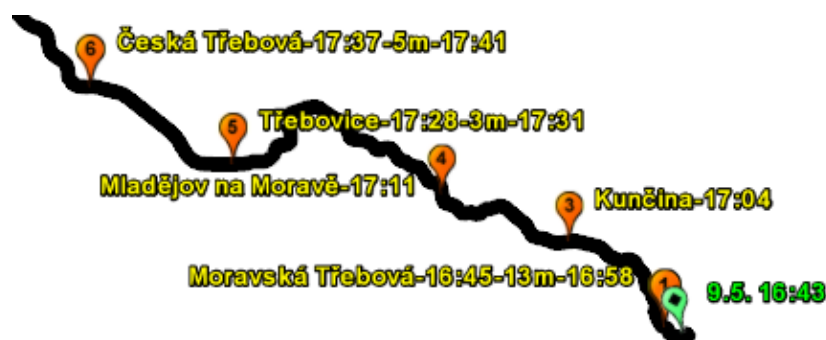
Geotagging neboli proces přiřazení geografických souřadnic objektu. Nejčastěji s využitím času, kdy podle času vzniku daného objektu a časových souřadnic všech bodů na trase GPS záznamu interpolací určíme geografické souřadnice vzniku tohoto objektu. Teoreticky lze využít pro jakákoliv časově označená média jako video, audio, textové zprávy a podobně. Zejména se však využívá v oblasti digitální fotografie.

Jedinou podmínkou úspěšného geotaggingu je správně seřízený čas na fotoaparátu. Potom pro vybraný záznam trasy a kolekci fotografií určíme souřadnice každé fotografie interpolací polohy podle času. Souřadnice je možné přímo zapsat do fotografie s využitím standardu EXIF¹.

¹Exchangeable image file format - standard pro ukládání meta-informací v multimediálních souborech



Obrázek 5.13: Korekce nadmořské výšky



Obrázek 5.14: Reverzní geokódování - zastávky vlaku

Výsledek vizualizace doplněné o sérii fotografií je vidět na obrázku 5.12. Propojení s fotografiemi tak vytváří perfektní přehled o místech, kterými trasa prochází.

5.3.2 Výškový profil

Důležitým parametrem každého bodu v GPS záznamu je jeho nadmořská výška. Problém může nastat v případě kdy tento parametr v záznamu úplně chybí nebo je nepřesný. Při nízkém počtu viditelných satelitů může být určení horizontální souřadnice velmi nepřesné nebo nemožné.

V takovém případě je možné výškovou souřadnici každého bodu doplnit s pomocí předem připraveného digitálního modelu terénu. V současné době je veřejně přístupný například model SRTM² [4] pocházející od NASA. Tento model pokrývá většinu zemského povrchu a to s přesností 30 až 90 metrů.

Teoreticky je možné využít i přesnější lokální modely, ale zásadní problém je možnost získat přístup k takovým datům.

5.3.3 Reverzní geokódování

Reverzní geokódování je název pro převod číselných geografických souřadnic do čitelné člověku srozumitelnější podoby například ve formě adresy.

Hlavním využitím je automatické štítkování a pojmenování záznamu trasy. Prvním krokem je identifikace významných míst na trase (zastávky, fotografie, předěly úseků) a jejich automatické označení čitelným názvem. Jednotlivé popisky je pak vhodné doplnit do vizualizace trasy nebo je možné z nich automaticky generovat srozumitelný slovní popis celého záznamu. Pěkný příklad je obrázek 5.11. Vypsání názvů všech zastávek doplněné ještě o začátek a konec trasy dobře vystihne všechny cíle výletu.

²The Shuttle Radar Topography Mission

Příklad na obrázku 5.14 ukazuje vizualizaci jízdy vlakem. Je vidět kombinace automatické detekce zastávek (viz. kapitola 5.2.2) a následného pojmenování těchto míst. Plně automaticky je tak možné generovat podrobný popis jízdy vlaku a prakticky tak sestavit jízdní řád. Naměřené hodnoty je pak možné třeba automaticky kontrolovat proti pravidelnému jízdnímu řádu nebo jinak využít k detekci mimořádností v provozu.

K reverznímu geokódování geografických názvů je možné využít například webovou službu on-line databáze GeoNames [5]. Pro specifické případy využití je účelné použít i vlastní databáze, například se seznamem a souřadnicemi vlakových zastávek nebo zákazníků firmy.

5.3.4 Návrh podobné trasy

Další možností využití seznamu významných míst podél trasy je přeplánování trasy a návrh rychlejší nebo kratší varianty.

Prvním krokem je izolovat několik významných bodů na trase. Ty je možné získat například nalezením nejdelších zastávek nebo zjednodušením linie trasy na několik málo charakteristických bodů s pomocí algoritmu Douglas Peucker (viz. kapitola 5.1.1.2).

S pomocí vyhledávače tras je pak možné automaticky navrhnout jinou variantu trasy, protínající všechna vybraná místa nebo zkontrolovat jestli zvolená trasa byla optimální. Využití se je možné v přepravních firmách pro automatické hlídání řidičů nebo optimalizaci jízd.

K samotnému vyhledání optimalizované trasy je možné využít například on-line API od společnosti Google - The Google Directions API [6].

Kapitola 6

Vizualizace atributů v průběhu záznamu trasy

Kromě samotného průběhu zaznamenané trasy v prostoru je potřeba zobrazovat také různé její atributy. Obvykle se bude jednat o průběh a změny rychlosti, nadmořské výšky, zrychlení nebo úhel stoupání. S využitím externího zařízení je možné využít i údaje jako srdeční tep, otáčky motoru a další.

Je potřeba uživateli prezentovat tyto atributy ve všech bodech podél celé trasy, nejen jejich absolutní hodnoty, ale také jejich plynulý průběh a zdůraznit a odlišit významné části. Protože se jedná o prostorová data, tak je vhodné navíc všechny informace provázat s geografickou polohou, ve které se sledovaný objekt v daném okamžiku nacházel.

Na počátku je pouze řada hodnot jednotlivých atributů podél celé trasy. Tato řada ovšem sama o sobě příliš velkou vypovídací hodnotu nemá. Aby uživatel získal rychlý přehled o vývoji a hodnotách zvolených atributů je třeba zvolit jejich vhodnou reprezentaci.

Tato kapitola popisuje možnosti vizualizace atributů v průběhu trasy včetně jejich výhod a nevýhod v různých situacích. První část obsahuje popis základních, běžně používaných metod. Část 6.2 přidává vlastní způsob řešení a po ní následuje analýza navržených postupů.

6.1 Základní řešení

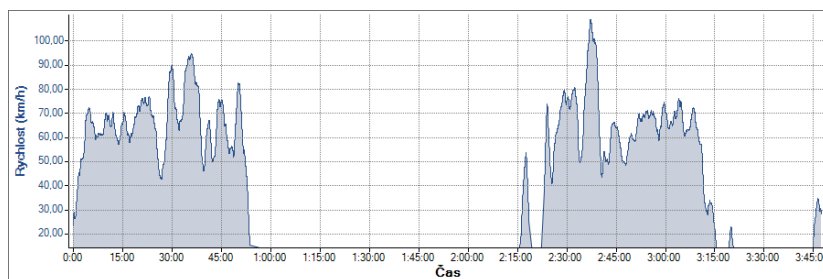
Tato část obsahuje popis základních variant, ze kterých ostatní postupy dále vycházejí.

6.1.1 2D graf

Jako první a nejjednodušší možnost se nabízí vynesení zvoleného atributu do spojnicového grafu s hodnotami atributu na ose Y. Tento způsob umožňuje kombinovat i více atributů v jednom grafu a v případě potřeby i s vlastní stupnicí na ose Y pro každý atribut.

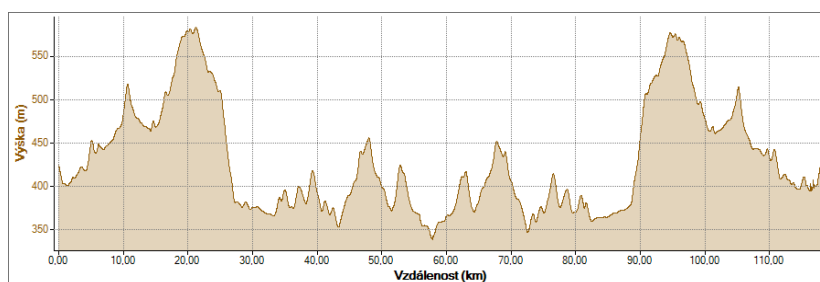
I takto jednoduchá varianta nabízí více možností uzpůsobení vypovídací hodnoty grafu vhodnou volbou stupnice na ose X. Na osu X je možné volit:

- Čas - jako standardní denní čas nebo čas uplynulý od začátku měření. Obě varianty dávají stejný vzhled výsledného průběhu grafu.



Obrázek 6.1: 2D graf - rychlost v závislosti na čase

- Vzdálenost - neboli délka trajektorie od začátku trasy k danému bodu.



Obrázek 6.2: 2D graf - nadmořská výška v závislosti na vzdálenosti

6.1.2 Štítky podél trasy

Nejjednodušší způsob jak prezentovat atributy trasy v mapě. Hodnota atributu každého bodu se vypíše jako textový štítek přímo na jeho pozici podél trasy, jak je vidět na obrázku 6.3.

Je třeba zvolit rozumnou hustotu štítků a tu dynamicky přizpůsobovat na základě aktuálního měřítko zobrazení trasy.

6.2 Vlastní vylepšení

Tato část obsahuje návrh vlastních způsobů vylepšení prezentace atributů podél trasy. Především cestou zlepšení vypovídací hodnoty a kombinací předchozích metod a větším provázáním informace s geografickou polohou.



Obrázek 6.3: Štítky na trase

6.2.1 2D graf - čas v pohybu

Jak je vidět na grafu rychlosti v závislosti na čase v obrázku 6.1, při delší zastávce zabírá značnou část grafu doba, kdy se objekt nepohyboval a rychlost byla nulová. To je zbytečné plýtvání místem, které by bylo možné lépe využít. To lze řešit následujícím způsobem.

Na ose X se použije čas v pohybu od začátku záznamu. To je obdoba varianty s časem na ose X, ale s odečtením doby, kdy se objekt nepohyboval (detekce zastávek viz. kapitola 5.2.2).

6.2.2 2D graf se zarovnáním

Při srovnání více záznamů začínajících ve stejném bodě a vedoucích po obdobné trase (např. dvě jízdy na kole po stejné cyklostezce) je zajímavé srovnání atributů pro konkrétní místa v prostoru na trase. Např. je možné porovnat rychlost stoupání do kopce mezi několika záznamy jízdy na kole.

Cílem je jednotlivé záznamy zarovnat v grafu na ose X takovým způsobem, aby bod křivky každé trasy vynesené v grafu na stejné souřadnici osy X vyjadřoval u všech tras i bod na stejném místě (nebo alespoň co nejbližší v prostoru na mapě). Jak body z různých tras, které reprezentují shodné body v prostoru, dostat i v grafu co nejbližší (ideálně na stejnou souřadnici osy X)?

Pro dvě porovnávané trasy se nejprve zvolí jeden ze záznamů jako referenční. Postupně se vezme každý bod z referenční trasy jako referenční bod. Pro referenční bod se najde geograficky nejbližší bod z druhé trasy a ten se umístí v grafu na ose X na stejnou souřadnici jako referenční bod. Obdobný přístup lze zvolit i pro vyšší počet tras, stačí zachovat stále stejnou referenční trasu a vůči ní zarovnávat i všechny ostatní.

Popsaný algoritmus lze shrnout následujícím způsobem:

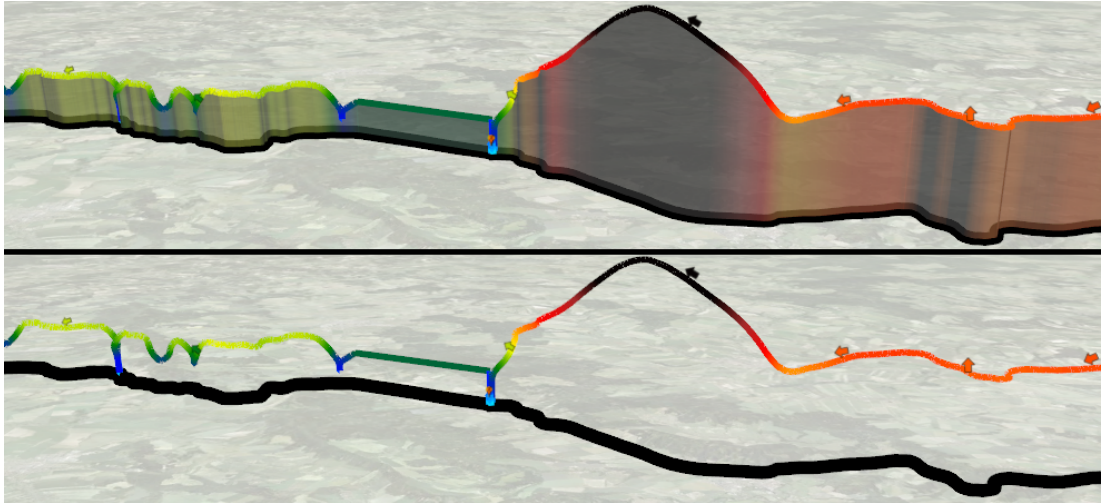
```
function zarovnejTrasyDoGrafu(var referencniTrasa, var trasy){
  foreach(var trasa in trasy) do {
    foreach(var refBod in referencniTrasa){
      var blizkyBod = vyberNejblizsiBodZTrasy(refBod, trasa);
      kresliDoGrafu(refBod.souradniceX, blizkyBod.rychlost);
    }
  }
}
```

6.2.3 3D graf

Nejllepší možností, jak více svázat vizuální reprezentaci atributů s jejich geografickou polohou, je horizontální osu grafu nahradit plochou zemského povrchu. Místo hledání vhodné souřadnice na ose X se bod vynesou přímo do plochy na místě jeho geografických souřadnic. Je to kombinace vykreslení trasy do plochy mapy a vynesení hodnot jako v grafu, ale do prostoru kolmo nad mapu.

Pro zvýšení srozumitelnosti grafu a větší provázání se skutečnou geografickou polohou je pak možné přidat některé další grafické prvky:

- Linie trasy přímo na ploše mapy, pod linií vnesených hodnot.

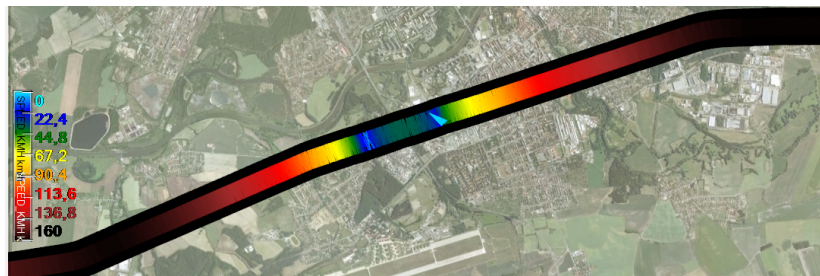


Obrázek 6.4: 3D graf

- Spojnice mezi plochou mapy a body vyneseny v prostoru. Je možné provést jako čáru kolmo dolů z každého bodu nebo vyplnit plochu pod celou vynesenu linií a vytvořit tak souvislou zeď.

6.2.4 Barevný gradient

Tento postup opět využívá plochu mapy jako základnu pro vynášení hodnot atributů trasy.

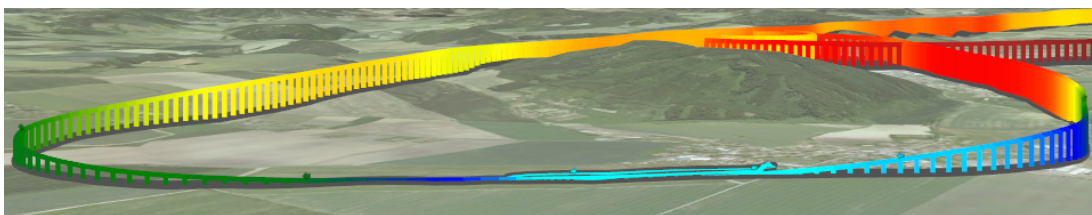


Obrázek 6.5: Barvení trasy podle průběhu rychlosti

Prvním krokem je určit rozsah zobrazovaných hodnot. Hodnoty se mapují na vhodně zvolený barevný gradient. Je možné zvolit pozvolný přechod přes několik barev jako na obrázku 6.5. Pro zdůraznění překročení určité hranice (např. maximální povolená rychlost) je možné u vybrané hodnoty naopak přechod definovat velmi kontrastní.

Při kreslení úseku mezi dvěma body v mapě je pak barva čáry zvolena podle aktuální hodnoty atributu (třeba rychlosti) mezi body a podle definovaného barevného gradientu.

Barvení je při vizualizaci možné použít samostatně při kreslení trasy „ploše“ přímo na povrch mapy. Navíc se dá kombinovat s 3D grafem. Linie trasy se obarví a zároveň vynesou do prostoru. Tím je možné přehledně kombinovat vizualizaci dvou veličin (jako na obrázku 6.6 kde 3D graf ukazuje nadmořskou výšku a barva odpovídá rychlosti) případně zdůraznit jednu veličinu oběma způsoby.



Obrázek 6.6: 3D graf s obarvením - záznam letadla

6.3 Analýza

Tato část obsahuje zhodnocení a porovnání navržených postupů. Jsou rozebrány výhody a nevýhody každého postupu i v závislosti na účelu analýzy a typu dat.

6.3.1 2D graf

Ve své podstatě nejjednodušší varianta. Hlavní výhody jsou tedy:

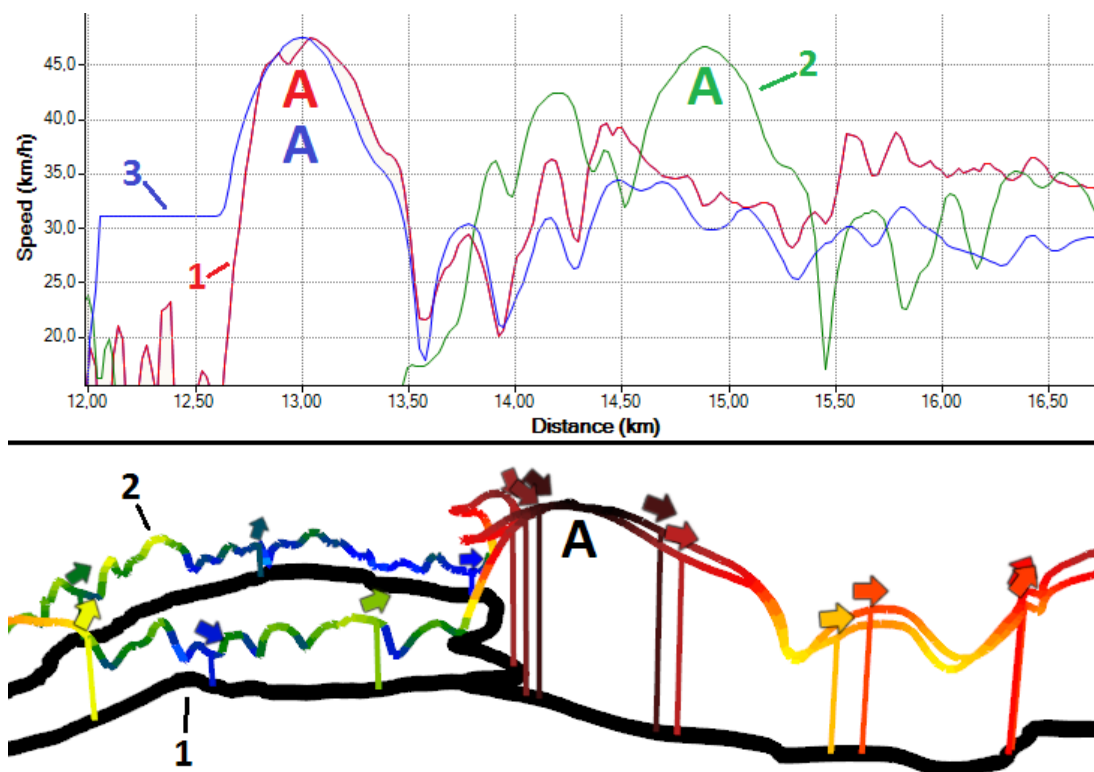
- Dává nejsnazší náhled na průběh hodnot během záznamu. Poskytuje snadnou a rychlou orientaci v průběhu analyzovaných hodnot.
- Jednoduchá práce s výslednou vizualizací. 2D graf se snadno zobrazí na monitoru.

Jednoduchost je ale vykoupena dvěma hlavními nedostatky:

- Neposkytuje žádnou vazbu na geografickou polohu. Z grafu lze snadno zjistit úsek či místo s maximální rychlostí, ale bez další analýzy není vidět v jakém místě na mapě to přesně bylo. Například náhlé změny v rychlosti auta lépe vysvětlí vazba na mapu a informace že auto zpomalilo, protože vjelo do města a vysoké rychlosti dosahovalo na dálnici, než omezení na informaci že se tak stalo v určitém čase.
- Přímé srovnání více záznamů obdobné trasy není jednoduché. V základním grafu budou mít shodnou souřadnici X body se stejným časem nebo vzdáleností. Stejně místo (např. vrchol kopce) nemusí ale v různých trasách znamenat stejný čas a to zejména vlivem odlišné rychlosti pohybu nebo délky zastávek.

Na první pohled je řešením použít pro horizontální osu vzdálenost na trase od začátku záznamu, ale i ta se může lišit v závislosti na chybách měření nebo menších odchylkách na trase (např. krátká odbočka a návrat na trasu nebo zvolení kratší/delší varianty pro jeden úsek trasy). Čím dále se v záznamech půjde, tím více se na vodorovné ose v grafu mohou vzdalovat hodnoty vynesené pro každou trasu, které odpovídají stejnému místu v prostoru.

Další výhody a nevýhody značně závisejí na veličině zvolené v horizontální ose, podle které se hodnoty v grafu vynášejí. Podle zvolené veličiny na ose X je lze rozdělit následovně:



Obrázek 6.7: 2D graf se zarovnáním - srovnání

- Čas - Při zvolení „času od začátku“ místo „absolutního času“ je navíc možné vynést smysluplně do grafu i více záznamů začínajících v různou dobu a to se zachováním jediné stupnice v ose X. Čas na ose X dává větší smysl pro veličiny jako jsou rychlost nebo zrychlení, tedy ty na čase nějak závislé. Jak je vidět v grafu na obrázku 6.1, nevýhodou jsou „hluchá místa“ v době kdy se sledovaný objekt nepohybuje.
- Čas v pohybu - Eliminuje problém „hluchých míst“ v grafu. Navíc pro více záznamů (např. jízdy vlaku) umožňuje lepší srovnání bez ohledu na délku a počet zastávek na trase.
- Vzdálenost - Opět je možné kombinovat více tras do jednoho grafu. Obdobně je tato varianta vhodná pro veličiny odvozené od jednotky délky. Například pro nadmořskou výšku dostaneme odpovídající profil terénu. Přestože sklon stoupání a klesání bude částečně zkreslený nutností použít různá měřítká v obou osách, alespoň však bude zkreslení stejné v každém místě grafu. Naopak použití času na ose X by znamenalo závislost sklonu grafu i na rychlosti v daném místě. Výhodou je automatická eliminace „hluchých míst“ v grafu v době kdy se objekt nepohybuje.

6.3.2 2D graf se zarovnáním

2D graf se zarovnáním je zobrazení vhodné pro porovnávání více záznamů jdoucích po obdobné trase. Hlavním přínosem je:

- Eliminace vzdalování v grafu u bodů různých tras reprezentujících obdobné místo na mapě. Umožňuje přímo srovnávat hodnoty mezi trasami naměřené ve stejném místě.

Na obrázku 6.7 je vidět ukázka aplikace zarovnání v grafu mezi dvěma záznamy pohybu po podobné trajektorii. Dolní část pro názornost ukazuje rychlost obou tras vynesenu jako 3D graf. Je vidět, že z levé strany každá trasa přichází po jiné cestě, ale dále pokračují obě po stejné. Z 3D grafu je také jasně vidět, že ve společné části je průběh rychlosti obou záznamů velmi podobný.

Horní část obrázku 6.7 znázorňuje vývoj rychlosti v závislosti na dráze (neboli uražené vzdálenosti od začátku záznamu) a obsahuje tyto křivky:

1. Červená - rychlost na trase číslo 1 v závislosti na dráze na trase 1.
2. Zelená - rychlost na trase číslo 2 v závislosti na dráze na trase 2.
3. Modrá - rychlost na trase číslo 2 s aplikovaným zarovnáním k referenční trase číslo 1.

V grafu lze na křivkách jasně identifikovat vrcholy s maximální dosaženou rychlostí, které odpovídají stejnému místu na mapě (označeny písmenem A). Křivky 1 a 2 se v grafu podle očekávání rozcházejí, kvůli počáteční odlišné cestě. Průběh rychlosti druhé trasy, zarovnaný k první a vyneseny jako křivka číslo 3, přesně kopíruje i vývoj rychlosti v první trase. To odpovídá i obsahu 3D grafu ve spodní části. Tento graf tedy umožňuje přímé porovnání rychlosti průjezdu stejnými místy.

V tomto případě mají obě trasy velmi podobný průběh a umožňují tak snadno ověřit korektní zarovnání.

Pozornost si ještě zaslouží dlouhý rovný úsek v levé části křivky 3. Je to důsledek přibližování obou tras, kdy delší dobu byl k referenční trase nejbližší stále stejný bod.

Jak graf názorně ukazuje, zarovnání hodnot v grafu značně usnadňuje přímé porovnání výkonů mezi více podobnými trasami, které procházejí stejnými místy.

Jako doplněk by navíc bylo možné vyznačit úseky, kde vzdálenost zarovnaného nejbližšího bodu je dostatečně malá a kde má tedy smysl hodnoty přímo porovnávat.

6.3.3 Štítky podél trasy

Je základní varianta s využitím mapy. Podává přesnou informaci, k jakému místu se prezentovaná informace vztahuje. V porovnání s grafem se ale naprosto ztrácí rychlý přehled o průběhu hodnot a možnost snadného vizuálního srovnání mezi různými místy.

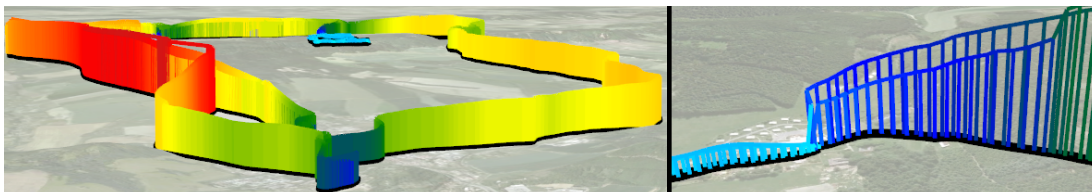
Je to spíš dobrý doplněk a výchozí bod pro následující varianty.

6.3.4 3D graf

Tento postup nabízí další možnost řešení zmíněného problému se synchronizací pozice v grafu na horizontální ose u geograficky blízkých bodů. Konkrétní pohled na určitý úsek trasy vykreslený tímto grafem je v podstatě obdobou „2D grafu se zarovnáním“ pro tento úsek.

Jako určitá nevýhoda se ukazuje prostorová podstata této vizualizace, kdy je potřeba zvolit vhodný pohled na scénu a její vykreslení na monitoru. Pro snadné čtení vykreslených údajů musí uživatel zvolit správný úhel pohledu z boku. U složitější trasy pak může být problém najít jediný pohled, kdy je celá trasa přehledně vidět tak, aby se v některé části neztrácelo příliš mnoho detailů.

Naopak velice dobře funguje analýza konkrétních menších úseků, kdy se pohled přiblíží pouze na vybranou část. Dobře je to vidět na příkladu obrázku 6.8, kdy v celkovém pohledu vlevo se sice trochu ztrácí detail informace o úseku trasy v zadní části pohledu, naopak detailní pohled vpravo přesně identifikuje místo a změnu rychlosti.



Obrázek 6.8: 3D graf - srovnání celkového pohledu a detailu

Vlastnosti tohoto druhu vizualizace lze shrnout do několika bodů. Mezi výhody patří především:

- Provázanost vizualizované hodnoty s geografickou polohou kde byla naměřena.
- Snadné srovnání více průjezdů stejným místem.

Nevýhody jsou:

- Složitější výběr vhodného pohledu, pokud je potřeba obsáhnout velký úsek trasy.
- Při pohledu z velkého úhlu trasa v prostoru příliš „plave“ daleko od povrchu mapy (jak je vidět na obrázku 6.4). Toto lze řešit přidáním svislých spojnic mezi trasou a povrchem.

6.3.5 Barevný gradient

Tato metoda výsledek vizualizace opět vrací do dvojrozměrného prostoru, se zachováním vztahu vnesených hodnot k jejich poloze. Třetí osa je nahrazena barevnou informací.

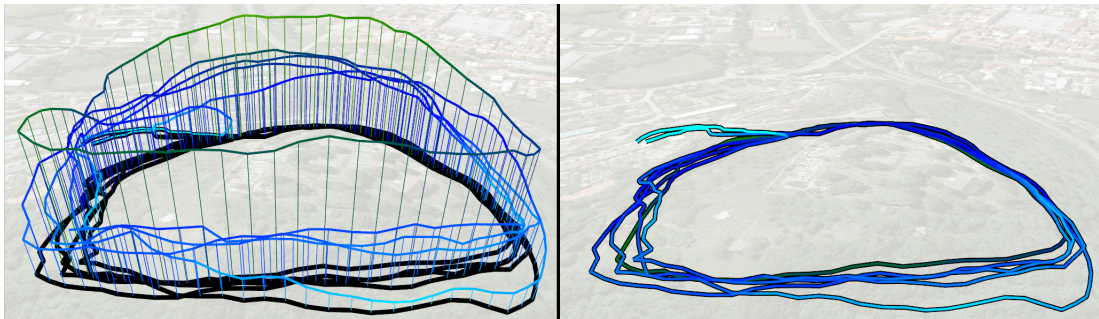
K výhodám patří:

- Vizualizaci celé trasy lze snadno zabrat jediným pohledem (jako na obrázku 6.9) aniž by došlo k potlačení nějakého dílčího úseku.
- Snadné pochopení jak celkového průběhu hodnot, tak lokálních extrémů. Jako na obrázku 6.9, kde je jasně vidět černé úseky s maximální rychlostí, zpomalení při kroužení a místo vzletu a přistání s nejpomalejší rychlostí vyznačenou světlou barvou.

Naopak mezi nevýhody patří:



Obrázek 6.9: Barvení trasy - náhled

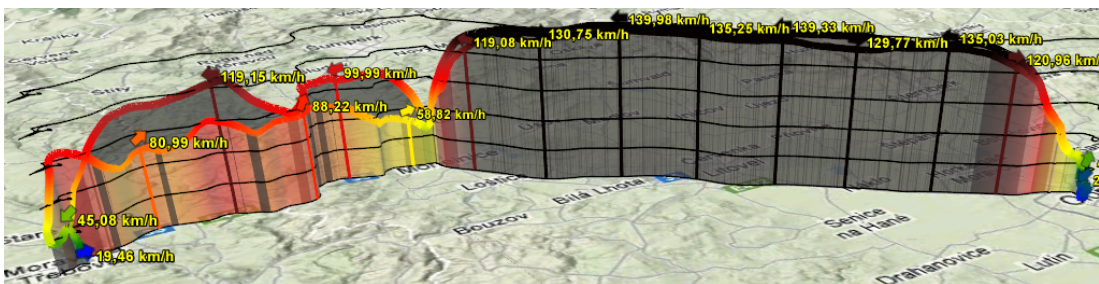


Obrázek 6.10: Barvení trasy - rozlišení překrytých úseků vynesemím do 3D grafu

- Nepřehlednost zobrazení při opakovaném průjezdu stejným místem. Záznamy v jednom místě se vzájemně překrývají a jdou těžko odlišit. To však může vyřešit kombinace vizualizace s 3D grafem, která umožní jednotlivé průjezdy v prostoru lépe odlišit (jak je vidět na obrázku 6.10).

6.4 Závěr

Jak z popisu jednotlivých metod vyplývá, každá si najde uplatnění pro nějaký účel analýzy dat. Pro rychlou představu o celkovém průběhu rychlosti postačí obyčejný 2D graf s odpovídající volbou osy X, pro více podobných tras je pak třeba zohlednit rozdílný průběh zarovnáním hodnot.



Obrázek 6.11: 3D graf a barevný gradient - vizualizace rychlosti

V případě detailní analýzy konkrétních úseků se vyplatí vizualizaci provést pomocí 3D grafu. Ten poskytne perfektní vazbu mezi aktuální rychlostí a geografickou polohou místa, kde byla zaznamenána. Navíc bez dalších úprav dovolí i srovnání více průjezdů stejným místem. Barvení trasy pak lze využít k dalšímu obohacení 3D grafu (jako na obrázku 6.11) nebo jako samostatnou vizualizaci v ploše mapy, kdy je výstup jako 2D obrázek snažší dále zpracovat.

Kapitola 7

Zobrazení a porovnání více tras najednou

Nejlepším využitím velké kolekce záznamů, je možnost je mezi sebou vzájemně porovnat. Například při hodnocení více záznamů sportovních výkonů cyklisty na jeho tréninkové trase. Vizualizací každého záznamu samostatně lze získat detailní přehled o jeho rychlosti, případně o vlivu stoupání či klesání na rychlost a podobně. Jak ale zjistit při kterém jízdě vyjel nějaký kopec nejrychleji nebo kdy a v jakých místech dosahoval největší rychlosti při sjezdu?

Jako první možnost se nabízí vzít jednotlivé vizualizace a požadované údaje vyčíst a porovnávat. Ale hledat stejný úsek trasy na několika samostatných mapách, pamatovat si hodnoty a ty pak srovnávat není úplně ideální způsob. Stejně tak není řešením všechny záznamy vykreslit tak jak jsou do jedné mapy, protože bez dalších úprav se těžko rozliší jednotlivé trasy.

Tato kapitola předkládá řešení popsaného problému pro vybrané situace, účely vizualizace a porovnání. Kapitola vychází z postupů vizualizace jednotlivých tras v kapitole 6, které jsou dále přizpůsobeny pro daný účel.

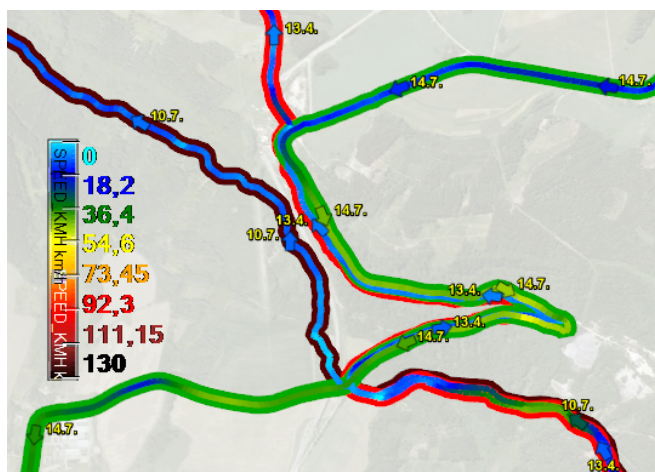
7.1 Přímé porovnání několika tras

Zejména u sportovních aktivit je často třeba porovnat více různých výkonů na stejné dráze. Například záznam dvou jezdců na závodním okruhu.

Cílem této části je navrhnout řešení situace, kdy je k dispozici několik podobných záznamů, které je třeba mezi sebou vzájemně porovnávat. Může se například jednat o porovnání aktuální rychlosti a jiných veličin mezi záznamy ve vybraném místě nebo srovnání celkového průběhu pohybu trasou. Protože jde především o záznamy podél stejné trasy, důležitým faktorem je přitom i přehledné rozlišení jednotlivých záznamů.

7.1.1 Rozlišení tras

Při zpracování více záznamů najednou je třeba vyřešit jejich vzájemné vizuální rozlišení. Aby při pohledu bylo snadné určit která z tras je ta rychlejší, severnější nebo ta co zatáčí vlevo a podobně. Toho lze nejlépe dosáhnout následujícími způsoby:



Obrázek 7.1: Vizualizace rychlosti s rozlišením tras - okraje a štítky



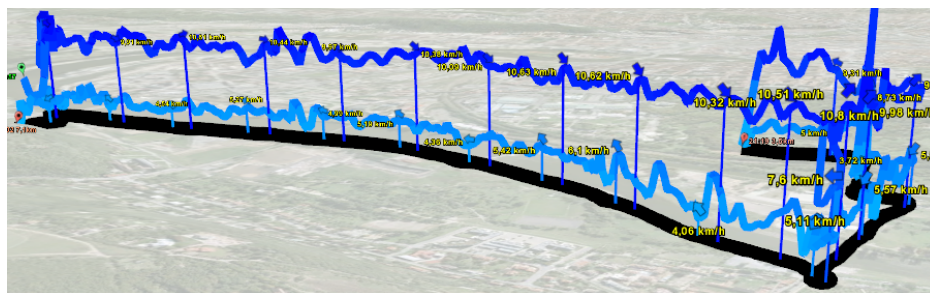
Obrázek 7.2: Srovnání tras - 3D graf rychlosti

- Barevné trasy - každý záznam bude mít jednu vlastní barvu. Velmi dobře funguje pro 3D graf (viz. obrázek 7.2). Přichází se tím ale o možnost využít barevnosti k vizualizaci některého z atributů trasy.
- Barevné okraje trasy - jako předchozí varianta, ale zachová možnost barevné vizualizace trasy. Jak je vidět na obrázku 7.1, dobře rozliší trasy přicházející z různých směrů. Horší už to je v místech, kde se trasy překrývají.
- Štítky - značky podél trasy s jednoznačnou identifikací (třeba datem nebo názvem). V rozumně nízké hustotě je dobrým doplňkem k předchozí variantě, jak je vidět na obrázku 7.1.

7.1.2 3D graf

Vizualizace vhodná jak pro detailní analýzu jedné trasy (viz. kapitola 6.2.3), tak i pro srovnání více tras mezi sebou. Kreslení tras ve vertikální ose je umožňují snadno rozlišit a přímo srovnat.

Hlavní výhodou je možnost porovnat výkony přesně ve vybraném úseku, nezávisle na předchozím průběhu trasy. Obrázek 7.2 porovnává několik jízd na kole. Na první pohled je vidět, že jízdy zleva doprava dosahují vyšších rychlostí. Jízdy ve stejném směru byly vyrovnané, až na malou výjimku modře vlevo dole. Na další ukázce v obrázku 7.3 lze z 3D grafu snadno vyčíst rychlejší běh na cestě doprava a pomalejší chůzi zpět.



Obrázek 7.3: Srovnání tras - 3D graf rychlosti



Obrázek 7.4: Animace pohybu - závod záznamů

7.1.3 Animace pohybu - závodění

Zatím všechny metody porovnávaly konkrétní hodnoty veličin podél trasy. Trochu jiný přístup jak porovnat podobné trasy, je využít časové značky zaznamenaných bodů. S jejich pomocí lze simulovat průjezd každou trasou. Buď automaticky jako animaci, ale nejlépe tak aby uživatel sám mohl ovládat rychlost a pozici právě zobrazeného časového úseku.

Při animaci bude čas probíhat plynule, ale body popisují trasu diskrétně. Jedno řešení je interpolací určit přesnou polohu i pro čas mezi body a zobrazovat značku pro daný čas na přesném místě. Další možnost je použít časové okno řádově o velikosti desítek vteřin (záleží i na hustotě záznamu) a zobrazovat celou část trasy, která do něj padne. Bude tak vidět malý úsek trasy. Tímto způsobem se lépe vystihne i aktuální směr a rychlost (délka úseku je na ní závislá) v dané chvíli na každé trase.

Při stanovení časových značek bodů pro animaci je třeba ještě zvážit jaký čas se pro animaci použije:

- Absolutní denní čas - vhodný u aktivit zaznamenaných ve stejnou dobu. Například více závodníků při orientačním běhu.
- Relativní čas od začátku záznamu - pro aktivity zaznamenané v různou dobu. Například porovnání několika výkonů jednoho závodníka na stejné trase.
- Relativní čas od místa - obdoba předchozí varianty. Parametrem jsou předem vybrané souřadnice nějakého místa. Nulový čas v každém záznamu se nastaví v bodě, který je nejbližší vybranému místu. Tato varianta umožní srovnání výkonů i v úseku, který nemusí být na začátku závodního okruhu.

V některých případech je ještě vhodné při srovnání eliminovat zastávky. Třeba při srovnání dvou jízd autem není potřeba zahrnout zastávky na benzínce. Řešením



Obrázek 7.5: Animace pohybu - závod záznamů

je u obou relativních variant přidat dovětek „čas v pohybu“. Od časové značky každého bodu se tak navíc odečte celkové trvání všech zastávek, ke kterým došlo v záznamu před tímto bodem. V důsledku toho se každá zastávka při animaci přeskočí. Animace je tím i plynulejší, protože se nemůže stát že by se na dlouhou dobu zasekla na jednom místě.

Obrázek 7.4 ukazuje tři jízdy na kole na podobné trase. Snadno lze rozlišit která varianta byla celkově rychlejší a kde se cyklista po určitém čase při každé jízdě nacházel. Podobný případ ukazuje obrázek 7.5, kde lze sledovat jak se více záznamů postupně vzdaluje ze stejného výchozího místa.

7.2 Velké kolekce tras

Při současném zobrazení velkého počtu tras už není příliš důležité jejich vzájemné přímé srovnání. Je potřeba spíš globální přehled o celé kolekci.

Při běžném vykreslení více tras do mapy má každá stejnou váhu (jako na obrázku 7.6 úplně vlevo). Tím se navzájem překrývají a ztrácí se část informace z překrytých tras. Tato kapitola se zabývá vhodnými metodami pro vizualizaci velkého množství tras, tak aby výsledná vizualizace lépe vystihovala vybraný charakter dat. Aby se základní informace jakými místy trasy vedou obohatila o informace popisující vlastnosti tras v těchto místech.

Ještě před započítím samotné vizualizace je však vhodné data v rozumné míře zmenšit. Při zpracování příliš velkého množství dat se snadno narazí na výkonostní nebo paměťové limity. Vhodné algoritmy k tomuto účelu jsou popsány v kapitole 5.1.

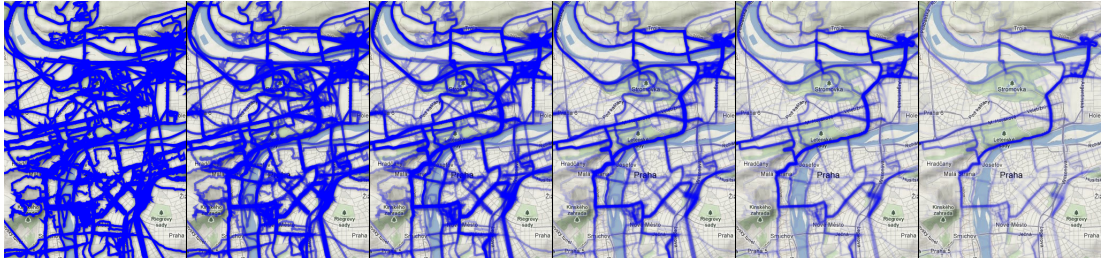
7.2.1 Zvýraznění často navštívených úseků

Důležitou informací je četnost průjezdů úseky tras a místy v mapě. Pokud po jedné cestě vede pouze několik málo záznamů, ale na vedlejší hlavní silnici jich je řádově více, je vhodné to ve vizualizaci zohlednit.

Požadovaného výsledku se dosáhne vykreslením linie každé trasy jako částečně průhledné. Více průhledných čar na stejném místě se vykreslením sečte a zvýrazní a ve vizualizaci tak vyniknou často používané úseky.

Při velkém počtu tras je třeba volit průhlednost velmi blízko 100%, jak je vidět v pravé části obrázku 7.6. Ten obsahuje přibližně stovku záznamů. Se stoupající hodnotou průhlednosti se postupně zvýrazňují často používané cesty.

Ještě před vizualizací je vhodné využít detekci a skrývání skoků, popsanou v kapitole 5.2.1 (viz. detailní popis detekce a obrázek 5.7).



Obrázek 7.6: Průhlednost tras - zleva průhlednost 0%, 50%, 75%, 90%, 95%, 98%



Obrázek 7.7: Šířka trasy podle rychlosti

7.2.2 Porovnání rychlosti podle úseků

Dalším zajímavým cílem analýzy je porovnání určité vlastnosti (například rychlosti) tras v různých místech.

Toho lze dosáhnout kreslením linie trasy s dynamickou šířkou, odvozenou od hodnoty požadovaného parametru v daném místě.

Následující příklad analýzy dat, založené na tomto postupu, vychází z obrázku 7.7. Jedná se o vizualizaci přibližně stovky záznamů chůze nebo jízdy autem, kde šířka čáry je přímo úměrná rychlosti. Na první pohled jde identifikovat pěší oblasti, ve kterých se vyskytují pouze nejtenčí linky. Naopak nejširší tah ze západu na východ jasně identifikuje hlavní silnici procházející městem. Středně široké linie ve městě pak odpovídají jízdě autem podle předpisů.

Zásadní nevýhodou je ale vliv nepřesnosti v záznamech na šířku výsledné linie ve vizualizaci. Jak je vidět vpravo na zvětšené oblasti obrázku 7.7. Velké množství úzkých tras v jedné oblasti, které vykazují rozlišitelné nepřesnosti v záznamu se spojí v jednu silnou linii a vytvoří tak zavádějící dojem o rychlosti v daném úseku.

Kapitola 8

Zhodnocení

Cílem této kapitoly je zhodnotit přínos postupů popsaných v předchozích kapitolách na konkrétních příkladech z praxe. Kapitola je rozdělena do několika částí, z nichž každá představuje určitý účel vizualizace a způsob použití navržených postupů na reálných datech. Obrázky s výsledky vizualizace v této i ostatních kapitolách, jsou výstupem ukázkové implementace, která je taktéž součástí této práce.

8.1 Analýza sportovních výkonů

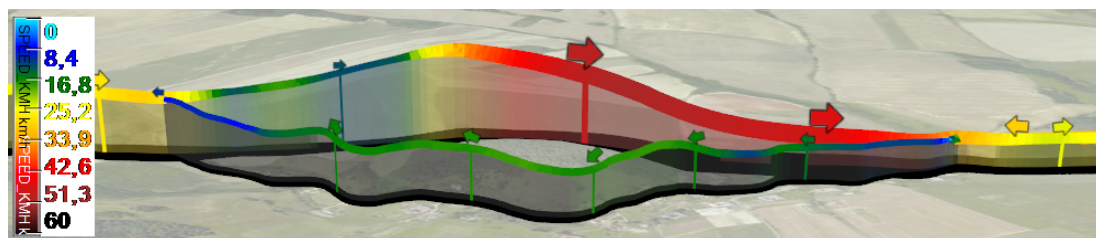
Při podrobné analýze sportovních výkonů se uplatní zejména barvení trasy podle rychlosti (viz. kapitola 6.2.4). Pro detailnější porovnání je dobrý doplněk i vynešení hodnot do 3D grafu (kapitola 6.2.3). Kromě rychlosti je možné vizualizovat i data z dodatečných senzorů jako je tepová frekvence, otáčky motoru a podobně.

Příklad na obrázku 8.1 ukazuje jízdu na kole. Barevně a šířkou čáry je vynešena rychlost. 3D graf znázorňuje průběh nadmořské výšky. Při jízdě přes kopec je dobře vidět výrazné zpomalení a následný rychlý sjezd.

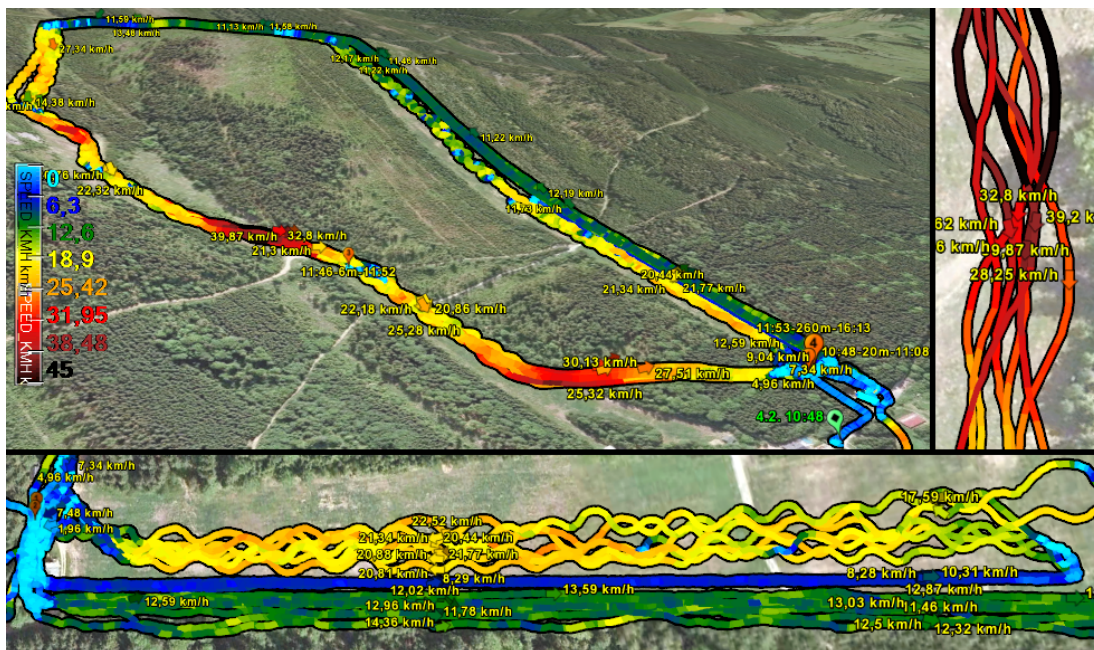
Obrázek 8.2 ukazuje vizualizaci několika sjezdů na lyžích. Z barevně odlišené rychlosti lze vyčíst rychlost na vlečích i jednotlivých svazích.

8.2 Dlouhodobý přehled navštívených míst

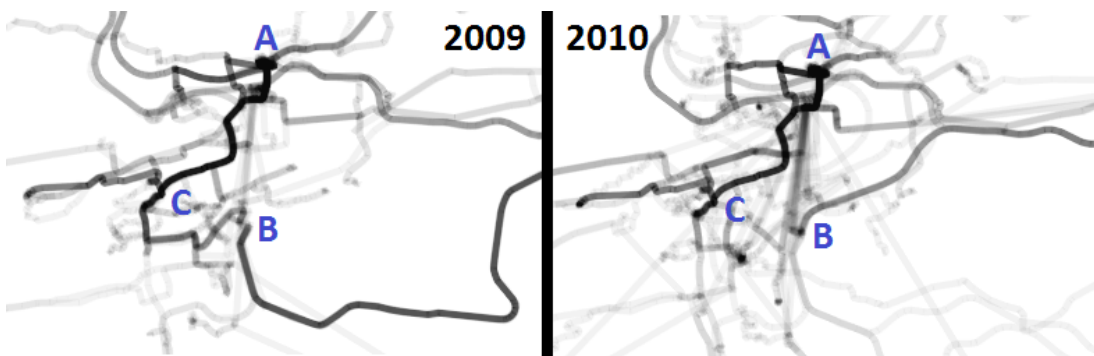
Při dlouhodobém vytváření GPS záznamů, není špatné udělat si globální přehled o navštěvovaných místech.



Obrázek 8.1: Analýza jízdy na kole - barva a šířka jako rychlost a 3D graf jako nadmořská výška



Obrázek 8.2: Lyžování - analýza rychlosti



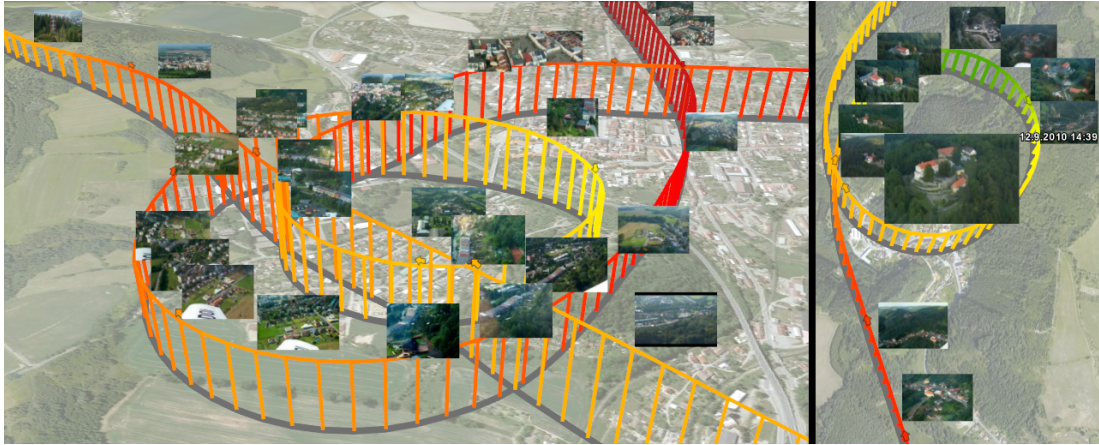
Obrázek 8.3: Oblíbené trasy - porovnání

K tomu je v prvním kroku dobré využít některý z redukčních algoritmů z kapitoly 5.1, aby bylo možné s daty rychle pracovat. Při vizualizaci se pak použije průhlednost tras, popsaná v kapitole 7.2.1.

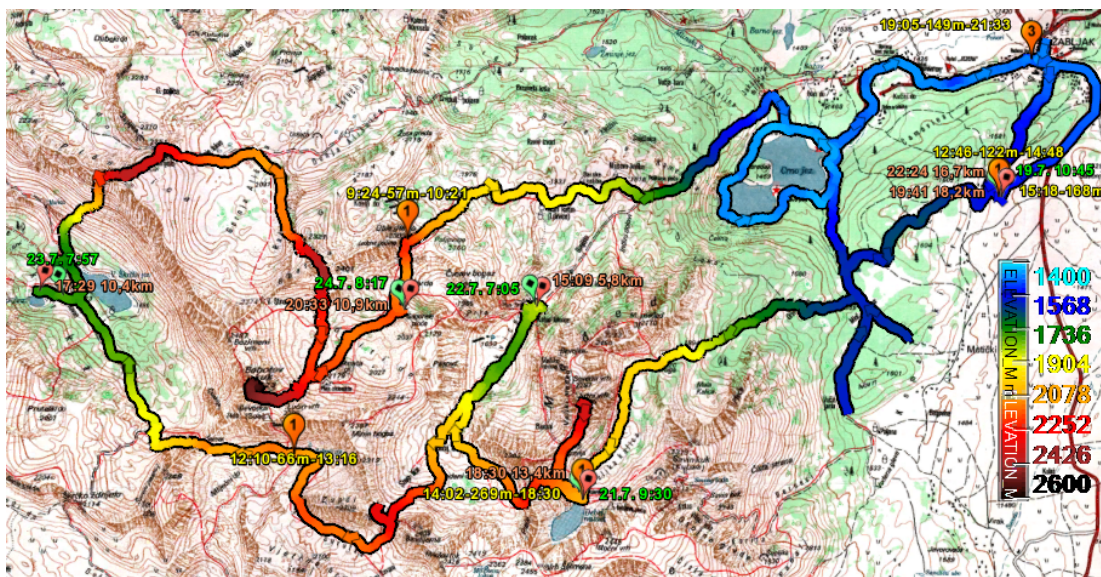
Obrázek 8.3 je ukázkovým příkladem analýzy oblíbených tras. Jedná se o záznam pohybu v jedné oblasti ve dvou po sobě následujících letech. V obrázku lze z převažujících tras snadno identifikovat 3 důležité a často navštěvované body, které jsou dodatečně označeny písmeny. V obou letech je vidět časté cesty mezi body *A* a *B*. V roce 2009 je pro příjezd z východní strany preferována jižní varianta cesty do bodu *B* následovaná cestou do *C*, kdežto v roce 2010 převažuje severní varianta příjezdové trasy do *B* následovaná cestou do *A*.

8.3 Záznam fotografického letu

Záznam fotografického letu je dobrý příklad využití geotaggingu fotografií (viz. část 8.4) a jejich integrace do vizualizace. Ukázka je vidět na obrázku 8.4 kde fotografie umístěné v místě pořízení jsou doplněny trajektorií trasy nad terénem



Obrázek 8.4: Fotografický let



Obrázek 8.5: Výlet v horách

a barvením podle aktuální rychlosti.

8.4 Deník z výletu

Výborným doplňkem každého výletu je i mapa s vyznačením všech významných navštívených míst v mapě. S automatickou detekcí zastávek (v kapitole 5.9), jejich pojmenováním, označením časů a vzdáleností vznikne jednoduše výstižný popis celého výletu.

Na obrázku 8.5 je zobrazen několikadenní výlet v horách. Podle barvy lze rozlišit nastoupané metry. Automaticky generované značky dávají přehled o zastávkách a nocování. K vizualizaci trasy je v aplikaci Google Earth navíc přidána ofocená mapa oblasti.

Ukázkou menšího výletu je obrázek 8.6, doplněný o fotografie a vlastní poznámky. Zde barva znázorňuje rychlost a vizuálně tak odděluje příjezd autem od samotné pěší túry.



Obrázek 8.6: Deník z výletu



Obrázek 8.7: Doplněk výkazu jízdy

8.5 Kniha jízd

V elektronické knize jízd může být šikovnou pomůckou automaticky generovaná mapa s označením důležitých zastávek, konců tras a stručnou informací o čase a ujetých kilometrech.

Názorný příklad je uveden na obrázku 8.7, kde je zobrazeno několik navazujících záznamů. Dobře je vidět rozdělení cesty na jednotlivé úseky i největší zdržení na celé cestě, dobu strávenou na hraničních přechodech. Detekci zastávek v kombinaci s reverzním geokódováním (viz. část 5.3.3) by pak bylo možné dobře využít i k slovnímu popisu trasy v knize jízd.

Kapitola 9

Technické řešení - implementace

Tato kapitola popisuje implementaci prototypu aplikace se zaměřením na vybrané netriviální problémy, které bylo při realizaci výsledné aplikace třeba překonat. Jedná se především o maximální využití možností formátu KML a dále o různé problémy při kombinování použitých aplikací a technologií.

Detailní popis všech možností pluginu je možné najít na přiloženém CD v uživatelské a programátorské dokumentaci. Tato kapitola si klade za cíl především popsat hlavní rysy a zdůraznit zajímavější části implementace.

9.1 Struktura programu

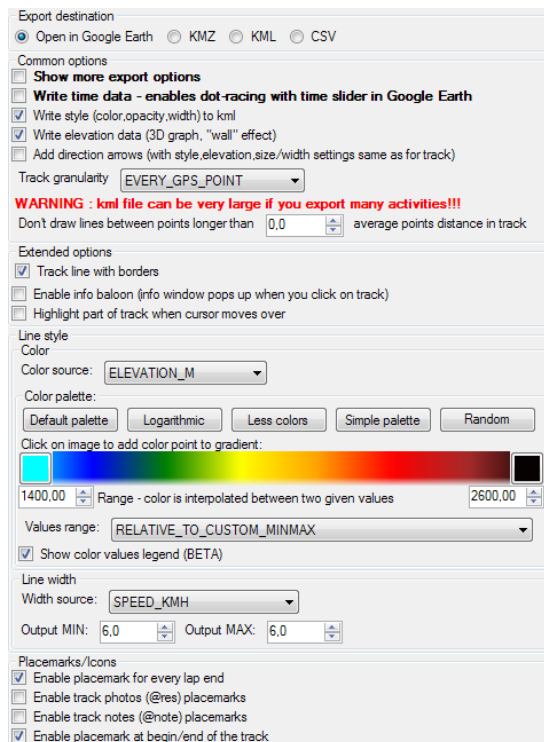
Základní funkčnost pluginu lze rozdělit do dvou samostatných celků:

1. Zobrazení vygenerované vizualizace. Integrace s Google Earth a automatické zobrazení generovaných KML dat, jak je popsáno v následujících sekcích 9.2 a 9.3.
2. Generování vizualizace. Z GPS dat získaných přes SportTracks API se podle zvolené konfigurace vytváří vizuální reprezentace v KML, jak je popsáno v sekci 9.4.

9.2 Integrace do SportTracks

Implementace je koncipována jako plugin do aplikace SportTracks (dále jen ST) verze 2.1. Plugin je stejně jako aplikace ST implementován v jazyce C# na platformě .NET verze 3.5 v OS Windows. Plně podporována je verze ST 2.1, kde plugin poskytuje jak export vizualizací do formátu KML a aplikace Google Earth (dále jen GE) tak i náhled přímo v aplikaci prostřednictvím webového pluginu GE. S příchodem nové verze ST 3.1 bohužel došlo k větším změnám ve struktuře aplikace a proto není tato nová verze zatím plně podporována. Verze SportTracks 2.1 však plně dostačuje k využití všech možností pluginu.

Do prostředí SportTracks je vizualizační plugin integrován především prostřednictvím otevřeného API, které aplikace poskytuje. Některé náročnější úpravy, jako přímá integrace mapového okna s Google Earth, vyžadovaly hlubší zásahy a reverzní analýzu kódu aplikace. Tento způsob ale i přes své zjevné zápory umožnil vytvořit velmi dobře použitelné prostředí.



Obrázek 9.1: Konfigurace vizualizace

Jak je popsáno v kapitole 3, vytvářené vizualizace je možné rovnou zobrazovat buď v samostatné aplikaci GE nebo přímo v ST prostřednictvím pluginu GE. Pro obě metody slouží společný konfigurační dialog, kde je možné vybrat z několika připravených konfigurací nebo detailně nastavit libovolný z parametrů vizualizace. Obsah dialogu se dynamicky přizpůsobuje podle aktuální konfigurace. Ukázka jedné z konfigurací je vidět na obrázku 9.1.

9.3 Integrace pluginu Google Earth do desktopové aplikace

Jak bylo zmíněno v kapitole 3, při integrování aplikace GE do ST se bylo třeba vypořádat s kombinováním velmi odlišných technologií. Aplikace ST i její pluginy běží na platformě .NET, kdežto GE Plugin i jeho API jsou webová záležitost založená na JavaScriptu.

Jako prostředník je využita standardní komponenta dostupná v .NET. Jedná se o třídu `System.Windows.Forms.WebBrowser`. Ta umožňuje v rámci vlastní aplikace zobrazovat a ovládat malý webový prohlížeč. V této komponentě je pak načtena HTML stránka, která už přímo ovládá plugin GE přes jeho API.

Zásadní na komponentě `WebBrowser` jsou tyto dvě vlastnosti:

- Metoda `HtmlDocument.InvokeScript(...)` - která přes instanci načtené HTML stránky dovoluje přímo volat JavaScriptové metody ve stránce. Touto cestou plugin ovládá okno s mapou v GE.
- Proměnná `WebBrowser.ObjectForScripting` typu `Object` - po přiřazení instance vlastní třídy je možné z JavaScriptu ve stránce na objektu `win-`

`dow.external` volat metody vlastní třídy implementované v C#. To umožňuje získávat i zpětnou vazbu z pluginu GE, důležitou pro interakci s aplikací. Například při označení bodu v trase v okně GE se touto cestou označí i příslušná část grafu zobrazeného v ST.

V této fázi je možné okno GE zobrazit a ovládat. Zbývá poslední problém jak do něj dostat generovaná data v KML. Jejich velikost může být řádově i několik desítek megabajtů a výše popsané prostředky tak nejsou k tomuto účelu z výkonnostních důvodů vhodné. Už samotné JavaScriptové API GE Pluginu má problémy při předávání takto velkých dat.

První možnost je exportovat KML do souboru na disk a ten v pluginu GE zobrazit. Tato metoda je využita při přímém exportu dat do aplikace GE (tím je myšlena samostatná desktopová aplikace GE). Z bezpečnostních důvodů ale webový plugin GE nedovoluje přístup k lokálním souborům.

Součástí implementace je tak ještě malý HTTP server, který slouží jako zdroj dat pro plugin GE. Při požadavku na zobrazení dat je přes metodu `InvokeScript` do pluginu GE předána jen URL adresa na interní HTTP server. Ten pak po požadavku z GE vygeneruje příslušná KML data s vizualizací.

9.4 KML

Formát KML je stěžejní částí celé implementace. Mezistupeň generování vizualizace v tomto formátu oproti přímému vytváření grafických prvků do GE nebo vlastního 3D enginu byl zvolen zejména z těchto důvodů:

- Větší nezávislost. KML je otevřený standard, podporovaný v mnoha aplikacích. V budoucnu nebude problém využít pro jeho zobrazení jakoukoliv aplikaci lepší než GE, pokud se objeví.
- KML soubor je možné uložit, editovat, sdílet a jakkoliv s ním dále pracovat. Uživatel není odkázán na práci s vytvořenou vizualizací pouze v rámci implementovaného pluginu.
- KML je přímo určen pro práci s geografickými daty.

Jediná výraznější nevýhoda tohoto přístupu je nutnost generovat všechna data předem a počítat se všemi možnými úhly a měřítky pohledu. Není možné se přizpůsobit aktuálnímu pohledu. Je potřeba generovat podrobná data pro velké přiblížení a zároveň nezahltit informacemi pohled z větší dálky. Tento problém řeší například následující sekce 9.4.1 nebo část 5.2.2.2.

Následující část se bude zabývat technickým řešením některých postupů a jejich realizací v jazyce KML.

Není cílem suplovat uživatelskou dokumentaci KML [14] a popsat všechny vlastnosti jazyka KML ani rozebrat do detailů všechny implementované postupy. V kapitole budou vybrány problémy, jejichž řešení nebylo s pomocí KML přímočaré a vyžadovalo nějaký složitější a zajímavější přístup.

Některé popsané prvky bohužel nelze zachytit pouhým obrázkem, protože jsou závislé na interakci s uživatelem při prohlížení vizualizace. V příloze této práce je proto několik ukázkových vizualizací, které je možné rovnou zobrazit v aplikaci GE a tam popsané prvky vyzkoušet.

9.4.1 LOD - Level of detail

Při generování grafického výstupu do KML je třeba brát v potaz fakt, že se generují jedna data pro všechny možné úhly a stupně přiblížení pohledu. Aby zůstalo zobrazení přehledné, je třeba u některých prvků dbát na dynamické nastavení viditelnosti v závislosti na měřítku.

Tento problém je v KML možné řešit pomocí elementů `Region` a `Lod` (Level of Detail). Každému prvku tak lze přiřadit oblast na zemském povrchu a maximální/minimální viditelnost této oblasti v pixelech. Prvek je pak skutečně zobrazen pouze pokud velikost oblasti na obrazovce spadá do specifikovaných mezí.

Využití si tato vlastnost našla zejména pro:

- Šipky generované podél cesty. Každá šipka má vypočítanou viditelnost tak, aby při pohledu na trasu v jakémkoliv měřítku byla hustota šipek na obrazovce přibližně stejná. Toho je dosaženo tak, že limit pro zobrazení každé šipky je roznásoben pozicí nejvyššího jedničkového bitu v pořadovém čísle šipky.
- Dynamicky slučované značky zastávek (viz. kapitola 5.2.2.2).

9.4.2 Zvýraznění aktivních objektů

Každý objekt v KML má definovaný svůj grafický styl, který přesně popisuje jakým způsobem má být vykreslen (šířka, průhlednost, barva,...). Běžně se pro objekt definuje pouze jeden styl. Je ale možné nastavit i druhý tzv. aktivní styl. Tento styl se aplikuje pokud se objekt dostane do aktivního stavu. To znamená třeba že na něj uživatel ukáže kurzorem myši.

Toho lze velmi dobře využít ke zobrazování podrobnějších dodatečných informací. Například každá úsečka reprezentující spojnici mezi dvěma body má v základním stylu velikost písma na svém štítku nastavenou na 0. V aktivním stylu je velikost 1. Každý bod tak může mít podrobný popis o aktuálním čase, rychlosti atd. V celkovém pohledu štítky všech bodů nezaplní obrazovku, protože nejsou vůbec vidět. Při ukázání do místa na trase, ale uživatel uvidí přesné parametry vybraného bodu.

Obdobný princip je použit i na dalších prvcích trasy. V případě fotek se pak velikost mění z 1 na velikost přibližně 4 a malá ikona fotografie se tak roztáhne na větší náhled.

Stejným postupem je možné skrývat nejen textové popisky, ale i celé grafické prvky. Každá generovaná značka zastávky obsahuje úsečky mezi body, které do ní patří. Taková značka dostane pro běžný styl šířku čáry 0 a v aktivním stylu třeba 5. V důsledku pak na ukázání kurzorem myši reaguje zvýrazněním úseku trasy, který pokrývá. To stejné platí i pro značky začátku a konce trasy a další.

Stejný princip je použit i na celé trase při prohlížení více záznamů najednou. Aktivní styl každé trasy má o něco širší kreslení čar. Při ukázání na část trasy myši se tak zvýrazní a odliší od ostatních celá tato trasa.

9.4.3 Barevný obrys trasy

Z důvodu různé barevnosti map a využití širokého spektra barev při vizualizaci trasy je těžké dosáhnout výrazného barevného odlišení trasy od podkladu po celé

její délce.

Čáry je v KML možné definovat pouze jednobarevné. Každé čáře je možné přiřadit číslo, kterým se řídí pořadí při vykreslování. S jeho využitím pak je možné vykreslit čáru s barevným okrajem. Pod základní čáru se umístí ještě jedna širší a hlavně v nižší hladině vykreslování.

Výsledek je možné vidět třeba na obrázku 7.1.

V aktualizované specifikaci KML už možnost přidat barevný obrys k trase je, ovšem pouze při nastavení šířky čáry v metrech. To je ale prakticky nepoužitelné, protože v různém měřítku pohledu na trasu je obrys i celá čára různě široká a v horším případě není vidět vůbec. Pro čáru s šířkou v pixelech na obrazovce bohužel zatím obrys takto přímo nefunguje.

9.4.4 Animace - časové značky

Každý objekt v KML může mít svou časovou značku. Tím je myšlen buď přesný čas nebo časový úsek od-do. GE pak obsahuje jednoduché ovládací prvky k nastavení a posouvání časového okna. Uživateli jsou zobrazeny jen ty objekty s časovou značkou, která spadá do zvoleného časového okna.

Tímto způsobem lze realizovat animaci pohybu po trase. Posouváním časového okna se pohybuje i zobrazená část trasy. Časové značky na jednotlivých bodech v trase není nutné volit jako skutečný čas bodu. Zarovnáním výchozího času k začátku každé trasy lze například realizovat „závod“ mezi více záznamy (viz. porovnávání více tras v kapitole 7.1.3).

Kapitola 10

Závěr

V práci byly navrženy a analyzovány různé postupy vizualizace GPS záznamu. Při posouzení byl brán zřetel i na konkrétní účely vizualizace a analýzy. Kromě samotné vizualizace bylo navrženo i několik postupů vhodných k pročištění a obohacení výchozích dat.

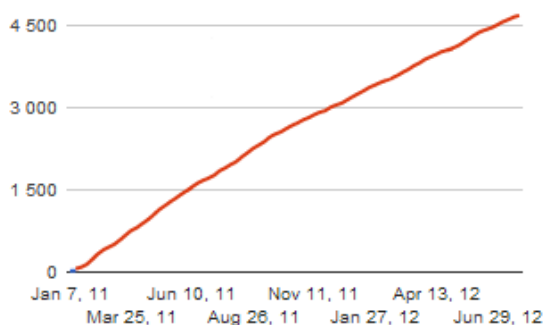
Z vizualizací prezentovaných v průběhu celé práce a zejména v kapitole 8 je možné posoudit výsledky navržených postupů i jejich konečné implementace. Ze základních dat se dají jednoduchým způsobem generovat přehledné vizualizace záznamů.

Prezentované výstupy je možné dobře využít k detailní analýze dat a poskytují kvalitní přehled o průběhu jednotlivých záznamů. S pomocí přiložené ukázkové implementace je možné jednoduše vytvářet například grafický deník z cest nebo podklady pro analýzu sportovních výkonů. Práce tedy svůj účel splnila.

10.1 Zveřejnění implementace

Výsledkem práce bylo také zveřejnění implementace v oficiálním katalogu pluginů aplikace SportTracks, odkud si ho mohou uživatelé snadno stáhnout a nainstalovat. Určitou formou dokladu o splnění cílů práce je i skutečné využití finální implementace.

Graf z oficiálního katalogu pluginů na obrázku 10.1 ukazuje přibližně 4500 stažení pluginu za rok a půl od prvního zveřejnění. Z grafu na obrázku 10.2 je



Obrázek 10.1: Počet stažení pluginu



Obrázek 10.2: Počet spuštění pluginu po týdnech v roce 2012

vidět týdenní počty¹ inicializací mapového okna pluginu během první půlky roku 2012. To zhruba znamená počet spuštění programu SportTracks mezi všemi jeho uživateli, při kterých byl vizualizační plugin použit. Hodnota se drží nad počtem 1000 použití pluginu za týden. Tento graf zahrnuje pouze použití integrovaného mapového okna ve SportTracks. Samostatné exporty do KML a Google Earth nejsou sledovány.

10.2 Budoucí práce

V další práci bude vhodné navrhnout automatickou logiku, která na základě vstupních dat sama určí a navrhne ideální kombinace vizualizací. Například podle počtu a charakteru tras sama zvolí míru zjednodušení, variantu vykreslení a podobně. I v současné implementaci není třeba vždy detailně ladit parametry, existuje několik ukázkových konfigurací, které všechny parametry nastaví, ale uživatel musí sám zvolit jaký typ právě požaduje.

Dalším cílem do budoucna je dokončit přechod implementace pluginu z verze SportTracks 2.1 do verze SportTracks 3.1. Tak aby v nové verzi fungoval nejen export vizualizací ale i přímá integrace v mapovém okně.

¹Data jsou sbírána nástrojem Google Analytics a výstupem jsou tak jen souhrnné údaje.

Seznam obrázků

1.1	Zobrazení trasy v aplikaci Google Earth	9
2.1	SportTracks	13
2.2	Google Earth	13
3.1	Aplikace SportTracks s vizualizací trasy v Google Earth	17
4.1	GPS Qstarz BT-Q1000X	20
4.2	Testovací data GPS	21
5.1	Snížení hustoty bodů	23
5.2	DP pozpátku	27
5.3	Redukce trasy - DP 3D srovnání vlivu koeficientu na dodatečný parametr (originál, 0, 1, 2, 4, 8)	28
5.4	Redukce trasy - srovnání (originál, snížení hustoty, DP, DP 3D)	29
5.5	Redukce trasy - srovnání 3D graf rychlosti (originál, snížení hustoty, DP, DP 3D)	29
5.6	Redukce trasy - srovnání více tras	30
5.7	Detekce skoků - vlevo originální data, vpravo bez vykreslení skoků	32
5.8	Detekce skoků - jízda vlakem (skoky modrou barvou)	34
5.9	Detekce zastávek	37
5.10	Slučování zastávek podle měřítka	37
5.11	Detekce zastávek - výlet vlakem a na kole	37
5.12	Přiřazení geografických souřadnic z trasy fotografiím	38
5.13	Korekce nadmořské výšky	39
5.14	Reverzní geokódování - zastávky vlaku	39
6.1	2D graf - rychlost v závislosti na čase	42
6.2	2D graf - nadmořská výška v závislosti na vzdálenosti	42
6.3	Štítky na trase	42
6.4	3D graf	44
6.5	Barvení trasy podle průběhu rychlosti	44
6.6	3D graf s obarvením - záznam letadla	45
6.7	2D graf se zarovnáním - srovnání	46
6.8	3D graf - srovnání celkového pohledu a detailu	48
6.9	Barvení trasy - náhled	49
6.10	Barvení trasy - rozlišení překrytých úseků vynesení do 3D grafu	49
6.11	3D graf a barevný gradient - vizualizace rychlosti	49
7.1	Vizualizace rychlosti s rozlišením tras - okraje a štítky	52
7.2	Srovnání tras - 3D graf rychlosti	52

7.3	Srovnání tras - 3D graf rychlosti	53
7.4	Animace pohybu - závod záznamů	53
7.5	Animace pohybu - závod záznamů	54
7.6	Průhlednost tras - zleva průhlednost 0%, 50%, 75%, 90%, 95%, 98%	55
7.7	Šířka trasy podle rychlosti	55
8.1	Analýza jízdy na kole - barva a šířka jako rychlost a 3D graf jako nadmořská výška	56
8.2	Lyžování - analýza rychlosti	57
8.3	Oblíbené trasy - porovnání	57
8.4	Fotografický let	58
8.5	Výlet v horách	58
8.6	Deník z výletu	59
8.7	Doplněk výkazu jízdy	59
9.1	Konfigurace vizualizace	61
10.1	Počet stažení pluginu	65
10.2	Počet spuštění pluginu po týdnech v roce 2012	66

Literatura

- [1] Douglas David H. and Thomas Peucker.
Algorithms for the Reduction of the Number of Points Required to Represent a Digitized Line or Its Caricature.
Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization. 1973-10-1, roč. 10, č. 2, s. 112-122. ISSN 0317-7173. DOI: 10.3138/FM57-6770-U75U-7727
- [2] Paul S. Heckbert and Michael Garland.
Survey of polygonal surface simplification algorithms
Multiresolution Surface Modeling Course, ACM Siggraph Course notes, 1997.
- [3] John Hershberger and Jack Snoeyink.
Speeding up the douglas-peucker line simplification algorithm.
In Proc. 5th Intl. Symp. on Spatial Data Handling, pages 134-143, 1992.
- [4] Farr, Tom G. and Rosen, Paul A. and Caro, Edward and Crippen, Robert and Duren, Riley and Hensley, Scott and Kobrick, Michael and Paller, Mimi and Rodriguez, Ernesto and Roth, Ladislav and Seal, David and Shaffer, Scott and Shimada, Joanne and Umland, Jeffrey and Werner, Marian and Oskin, Michael and Burbank, Douglas and Alsdorf, Douglas.
The Shuttle Radar Topography Mission.
Reviews of Geophysics, vol. 45, RG2004, 33 PP., 2007 doi:10.1029/2005RG000183
- [5] *GeoNames* [online].
URL: <http://www.geonames.org/>
- [6] Google. *The Google Directions API* [online].
URL: <https://developers.google.com/maps/documentation/directions/>
- [7] Microsoft Research. *Geolife project* [online]
URL: <http://research.microsoft.com/en-us/projects/geolife/>
- [8] Zheng, Yu, Xie X., Ma, W. Y.
Mining interesting locations and travel sequences from GPS trajectories for mobile users. In Proceeding of WWW2009, (Madrid, Spain. April 2009), ACM Press: 791-800.

- [9] Quannan Li, Yu Zheng, Yukun Chen, Xing Xie. Mining user similarity based on location history. In Proc. of ACM SIGSPATIAL conference on Geographical Information Systems (ACM GIS 2008), ACM Press, 1-10.
- [10] Yu Zheng, Longhao Wang, Xing Xie, Wei-Ying Ma. GeoLife-Managing and understanding your past life over maps, In Proceedings of International conference on Mobile Data Management (MDM 2008), IEEE Press, 211–212.
- [11] Wang-Chien, Lee a John Krumm. *Computing with spatial trajectories: Trajectory Preprocessing*. New York: Springer, 2011, s. 3-33. ISBN 9781461416296.
- [12] *GPSies* [online]
URL: <http://www.gpsies.com>
- [13] *SportTracks Plugin Catalog* [online]
URL: <http://www.zonefivesoftware.com/sporttracks/plugins/?p=dobrou-extensions>
- [14] Google. *KML Reference* [online].
URL: <https://developers.google.com/kml/documentation/kmlreference>
- [15] *Cykloserver* [online]
URL: <http://www.cykloserver.cz/cykloatlas/>
- [16] *MTBGuru* [online]
URL: <http://www.mtbguru.com/>
- [17] Google. *Google Fusion Tables* [online].
URL: <http://www.google.com/fusiontables/Home/>
- [18] Google. *Google Earth Plug-in JavaScript API* [online].
URL: <https://developers.google.com/earth/>

Příloha A

Obsah přiloženého CD

Přiložený kompaktní disk obsahuje digitální verzi této práce, uživatelskou a programátorskou dokumentaci a zdrojové kódy ukázkové implementace. Navíc je přiložena i kolekce ukázkových vizualizací ve formátu KML a binární instalační balíček nutný ke zprovoznění vizualizačního pluginu.

Struktura obsahu CD je následující:

/sporttracks-bin/

Binární instalační balíček programu SportTracks a implementovaného vizualizačního pluginu. Je přiložen i datový soubor s ukázkovou sbírkou GPS záznamů.

/visualization-examples/

Ukázkové výstupy vizualizací vygenerovaných implementovaným pluginem ve formátu KML. K jejich prohlížení stačí aplikace Google Earth.

/visualization-plugin-src/

Zdrojové kódy implementovaného pluginu.

/diplomova-prace.pdf

Elektronická verze této diplomové práce.

/doc-developer-documentation.chm

Programátorská dokumentace implementovaného pluginu.

/doc-user-guide.pdf

Uživatelská dokumentace implementovaného pluginu.

/_README.txt

Popis obsahu CD.