MASARYKOVA UNIVERZITA
FAKULTA INFORMATIKY

Analýza a vizualizace letu kluzáku

Diplomová práce

Martin Štěpánek

2012

Prohlášení

Prohlašuji, že tato práce je mým původním autorským dílem, které jsem vypracoval samostatně. Všechny zdroje, prameny a literaturu, které jsem při vypracování používal nebo z nich čerpal, v práci řádně cituji s uvedením úplného odkazu na příslušný zdroj.

Poděkování

Děkuji vedoucímu mé diplomové práce Mgr. Ondřeji Strnadovi za odborné vedení a za rady a připomínky při psaní textu.

Shrnutí

Práce se věnuje zobrazení terénu v reálném čase s využitím dat popisujících skutečný povrch Země a vizualizaci a analýze záznamu letu kluzáku. Popisuje a srovnává dostupné datové modely terénu a způsoby měření a záznamu těchto dat. Dále se věnuje principům LOD algoritmů aplikovatelných na terén, možnostem přístupu k texturování terénu a detailněji rozebírá v tomto ohledu možnosti projektu OpenStreetMap. Část věnovaná létání popisuje principy záznamu letu kluzáku a osvětluje možnosti a úskalí analýzy záznamů a získání dat zajímavých pro piloty kluzáků. Praktická část práce se věnuje implementaci demonstrační aplikace zobrazující záznam letu kluzáku nad modelem terénu a vysvětlení problémů řešených během implementace. Demonstrační aplikace je naprogramována pomocí programovacího jazyka Java a zobrazuje scénu s využitím možností grafického enginu Java Monkey Engine 3.

Klíčová slova

Java Monkey Engine, Java, reálný terén, výšková data, DEM, analýza letu, OpenStreetMap, textura.

Obsah

Obsah **6**

1 Úvod **8**

2 Zobrazení reálného terénu **9**

2.1 Metody získání terénních dat 9

2.2 Datové modely vytvořené pomocí radarového snímání 11

2.2.1 GTOPO30 11

2.2.2 SRTM 11

2.2.3 ASTER GDEM 12

2.2.4 GMTED2010 (Global Multi-resolution Terrain Elevation Data 2010) 13

2.2.5 Porovnání modelů 14

2.3 LOD algoritmy 15

2.3.1 Zaručená kvalita terénu vs. zaručená rychlost zobrazení 15

2.3.2 Nepravidelná trojúhelníková síť a pravidelná mřížka 16

2.3.3 Myšlenkový vývoj algoritmů vzhledem k vývoji hardwaru 17

3 Textury pro terén **18**

3.1 Fototextury 18

3.2 Mapa 18

3.3 OpenStreetMap 19

3.3.1 Systém dat 19

3.3.2 Renderování obrazových dat 19

3.3.3 Filtrování dat 20

3.3.4 Možnosti získání mapových podkladů jako textur 21

4 Záznam polohových dat a jejich analýza **22**

4.1 Zařízení pro záznam letu 23

4.2 Analýza dat 23

4.2.1 Informace důležité pro běžný let 24

4.2.2 Další Informace, zajímavé speciálně pro let kluzáku 25

5 Implementace **30**

5.1 Terén 30

5.1.1 Datový model terénu 30

5.1.2 Konverze dat datového modelu do vhodného formátu 31
5.1.3 Terén v JME3 33
5.2 Textury 34
5.2.1 Možnosti získání textur z dat OpenStreetMap 34
5.2.2 Využití webové služby 38
5.2.3 Tvorba textur ze stažených mapových dílků 38
5.3 Záznam letu 41
5.3.1 Reprezentace záznamu letu v aplikaci 42
5.3.2 Vizualizace průběhu letu 43
5.4 Analýza letových dat 43
5.4.1 Řešení vybraných výpočtů 44
6 Závěr 47
Zdroje informací 48
Příloha A: Demonstrační aplikace 52
A.1 Popis okna aplikace 52
A.1.2 Akce ovládacího panelu 52
A.2 Ovládání pohybu kamery 53
A.3 Zobrazení letových údajů 53
A.3.1 Popis letových údajů 54
Příloha B: Seznam elektronických příloh 55

1 Úvod

Informační technologie jsou součástí běžného života. Stále pronikají do nových oblastí a tam, kde se již zabydlely, probíhá jejich další zdokonalování a rozšiřování pole působnosti. Uplatňují se ve výrobě, školství, umění, každodenní zábavě nebo i při cestování a dopravě.

Velmi oblíbené se staly nejrůznější typy navigací. A to ať již do automobilů nebo pro pěší turisty či cyklisty. Zatímco v těchto oblastech lze vidět přínos v pohodlnosti, zábavě a menších nárocích na práci ve srovnání s používáním klasické mapy, například v letecké dopravě se jedná o velmi významný prvek zvýšení bezpečnosti letu. Na rozdíl od pozemní dopravy totiž pilot nemůže letoun zastavit a začít studovat mapu bez toho, aby se musel současně věnovat pilotáži.

Pokud je možné tímto způsobem analyzovat data o pozici a některá další přímo za letu, není technickým problémem tato data také zaznamenávat. V dopravním letectví je možné zaznamenaná data využít k nejrůznějším účelům, zejména pak při vyšetřování leteckých nehod. Záznam letu má ale v dnešní době nezastupitelnou pozici i ve sportovním létání.

Oblastí, kterou se zabývá tato práce, je bezmotorové létání. Jinak také plachtění nebo létání na kluzácích. Jako sportovci v jiných sportech se i plachtaři také snaží o dosažení co nejlepších výkonů ve své disciplíně. Obecně vzato se může jednat buď o let na co největší vzdálenost, dosažení co nejvyšší rychlosti na předem deklarované trati nebo dosažení určitého rozdílu mezi minimální a maximální výškou během samostatného bezmotorového letu. Téměř vždy se tak jedná o výkony dosahované na rozsáhlých územích. V dřívějších dobách se k záznamu výšky používal barograf a k záznamu pozice ve vybraných bodech trati fotoaparát. Dnes jsou ale nároky na přesnost záznamu a na vyhodnocování výkonů mnohem vyšší. Zvláště na plachtařských soutěžích, kde se běžně jedná o rozdíly v rychlosti mezi soutěžícími v řádu desetin kilometrů v hodině, vzdálenosti v řádu stovek metrů a výšky v řádu jednotek metrů. Takovéto parametry lze vyhodnotit jen z dostatečně kvalitního záznamu vhodnou a exaktní poletovou analýzou letových dat.

Podobně jako u cyklistiky, kdy cyklisty zajímá, kudy přesně jeli, jaké překonali převýšení a jakou měli v jednotlivých částech trasy průměrnou rychlost, zajímají i plachtaře nejrůznější data o jejich letu. Může jít o data statistická, data z konkrétního okamžiku letu, ale i o celkový pohled na let zobrazený trojrozměrně. Z těchto důvodů vzniká potřeba mít k dispozici k tomuto uzpůsobený software schopný analyzovat a vizualizovat let kluzáku se všemi jeho specifiky. Takové aplikace již existují, ale buď jde o projekty komerční, neudržované či projekty, které jsou určeny jen pro jeden operační systém. Téměř zpravidla jím je OS Windows. Stále je tak otevřený prostor pro vývoj volně šiřitelné multiplatformní aplikace.

2 Zobrazení reálného terénu

Reálnost terénu je plně závislá na datech, kterými je určen. Jedná se o hodnoty naměřené ve skutečném světě. Jejich přesnost závisí na zvolených metodách měření.

Výškovými terénními daty je myšlen soubor dat, který popisuje nadmořskou výšku dané oblasti zemského povrchu. Mívá podobu pravidelné i nepravidelné sítě bodů (výšek).

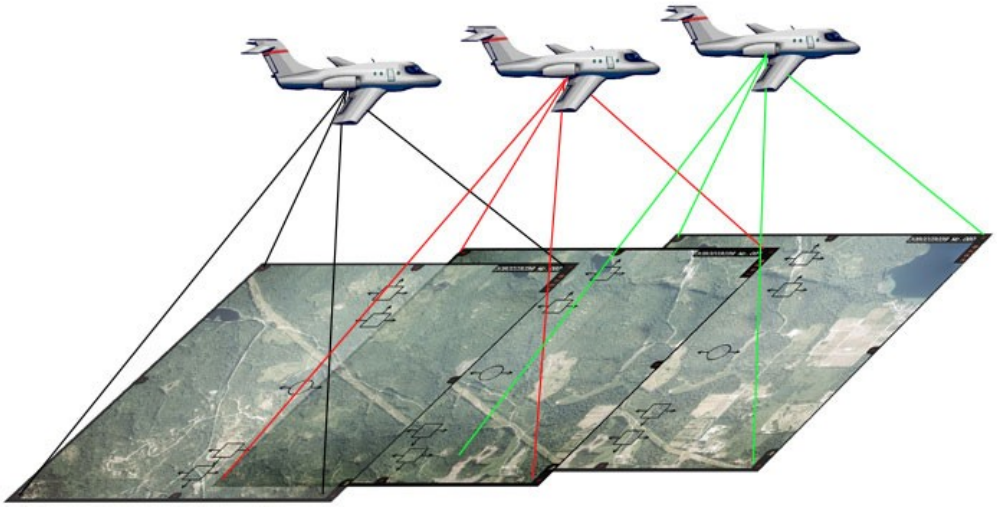
2.1 Metody získání terénních dat

Podle [1] se v praxi používá několik metod zjišťování nadmořské výšky na daných souřadnicích. Lze je rozdělit na kontaktní a bezkontaktní. Jejich souhrnné porovnání je uvedeno v tabulkách 1 a 2.

Kontaktní metody vyžadují již podle svého názvu přítomnost měřících zařízení přímo na místě měření. Jedná se zpravidla o nejpřesnější, ale i časově nejnáročnější metody a nehodí se pro popis větších území. Příkladem těchto metod jsou nivelace, tachymetrie či využití signálu z globálních navigačních satelitních systémů – GNSS (např. GPS – popsáno v kap. 4).

U bezkontaktních metod je situace naprosto odlišná. Jedná se o metody, k jejichž realizaci se používá letadel, helikoptér či jiných létacích prostředků nebo satelitů.

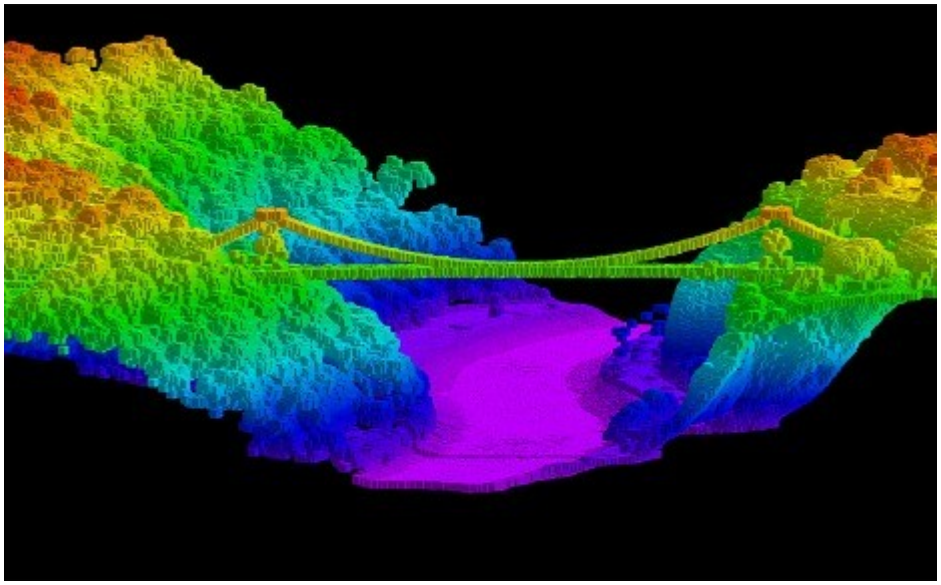
Fotogrammetrie – pro rekonstrukci tvaru a rozměru trojrozměrných objektů, tedy i terénu, se využívá dvou vhodně pořízených fotografií (viz obr. 1). Letadly lze takto pokrýt poměrně velké území, ale o globálním modelu se rozhodně hovořit nedá.



Obrázek 1: Díky snímkům vhodně pořízeným z různých pozic lze zrekonstruovat povrch terénu. (převzato z [2])

LIDAR – Light Detection And Ranging je metoda založená na laserovém snímání terénu. Je o něco přesnější než fotogrammetrie. Její hlavní výhoda spočívá v možné prostupnosti

vegetací, čímž je umožněno snímání povrchu terénu [3] nebo i staveb, jak je ukázáno na obrázku 2. Shodně jako u fotogrammetrie je ale realizována především za pomocí letadel a s tím jsou spojeny stejné výhody a nevýhody.



Obrázek 2: Pomocí laserového snímání lze zachytit s vysokou přesností i stavby. (převzato z [4])

Radarové měření – využívá k tomuto účelu vybavených zařízení na oběžné dráze Země. Nevýhodou této metody je ve srovnání s ostatními metodami poměrně značná nepřesnost. Pro účely vytvoření globálního modelu zemského povrchu je ale tato metoda zatím nezastupitelná.

Porovnání zmíněných metod

Kontaktní metody:

Metoda	Přesnost	Relativní rychlost	Území
Nivelace	0,001 m – 0,01 m	1	malé
Tachymetrie	0,02 m – 0,05 m	2	malé
GPS	0,02 m – 0,05 m	3	malé

Tabulka 1: kontaktní metody měření terénu

Bezkontaktní metody:

Metoda	Přesnost	Relativní rychlost	Území
Fotogrammetrie	0,2 m – 0,5 m	6	velké
LIDAR	0,1 m – 0,2 m	5	velké
Radarové snímání	20 m – 70 m	9	obrovské

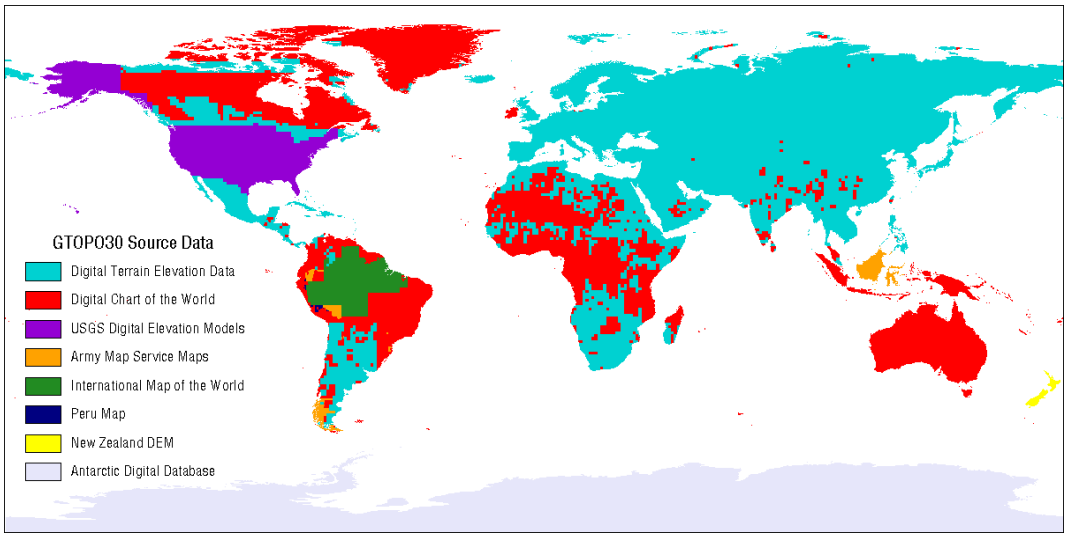
Tabulka 2: bezkontaktní metody měření terénu

2.2 Datové modely vytvořené pomocí radarového snímání

Z tabulek na konci předchozí kapitoly je zřejmé, že zvláště pro účel získání výškového modelu[1] pro větší území, jsou vhodné bezkontaktní metody. Pro účely zobrazování terénu na územích ohraničených obdélníkem o stranách délky desítek či stovek kilometrů je jedinou prakticky použitelnou metodou radarové snímání. Proto je dobré se dále zaměřit právě na tuto oblast.

2.2.1 GTOPO30

Jak se lze dočíst v [5], GTOPO30 je globální digitální výškový model s body vzdálenými od sebe 30 úhlových vteřin. To je na rovníku přibližně 1 km. Byl odvozen a dopočítán podle několika zdrojů topografických informací ke konci roku 1996 (viz obr. 3). Model pokrývá plochu celé pevniny.



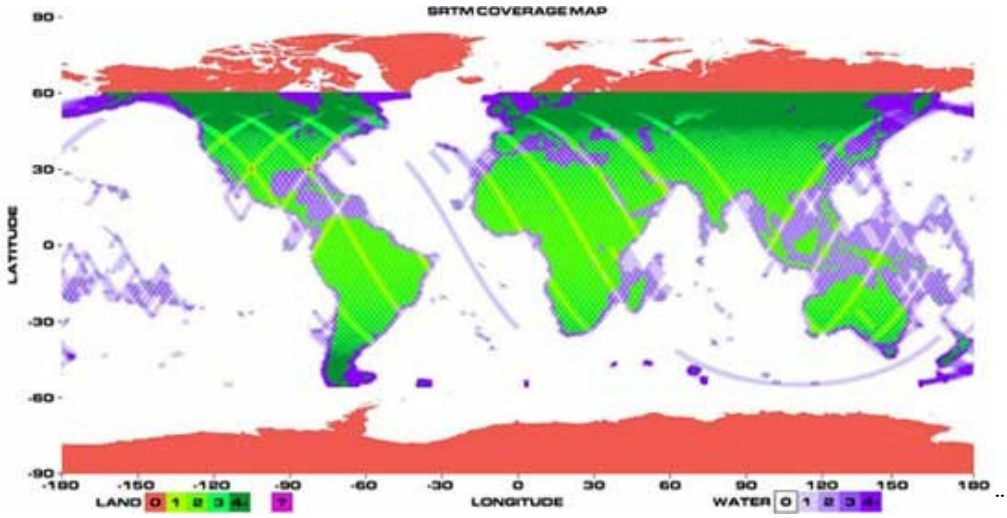
Obrázek 3: Struktura dat, z nichž je model GTOPO30 sestaven. (převzato z [6]).

Model je celkově vhodný kvůli nízkému rozlišení především k získání hydrologických, geomorfologických a klimatologických informací v kontinentálních měřítcích.

2.2.2 SRTM

SRTM model obsahuje data získaná v roce 2000 během speciální mise raketoplánu Endeavour, který během 11 dní nasbíral množství topografických dat [7]. Ta pokrývají přibližně 80 % zemského povrchu mezi 60 ° severní šířky a 54 ° jižní šířky [8]. Lepší představu o pokrytí dává obrázek 4.

[1] Anglicky DEM – Digital Elevation Model



Obrázek 4: Pokrytí pevniny modelem SRTM (převzato z [8])

Originální data mají hustotu výškových bodů po 1 úhlové vteřině (asi 30 m na rovníku) pro oblast USA (bývá označováno jako SRTM1) a 3 úhlové vteřiny (asi 90 m na rovníku) ve zbytku zmapované oblasti (bývá označováno jako SRTM3). Prvotní data obsahovala mnoho mezer, kde nebyla výška zaznamenána z důvodu překrytí oblasti oblačností nebo pokrytí sněhovou pokrývkou. Upravený, tzv. finální produkt, již neobsahuje takové množství prázdných míst, nicméně menší plochy přesto zůstaly. Zejména zastíněné oblasti, ve kterých nebylo možné nadmořskou výšku dopočítat, a některé vodní plochy. Kvůli charakteristikám radaru chybí také oblasti s množstvím prudkých svahů. Vertikální chyba modelu se uvádí nižší než 16 metrů.

Tato finální data jsou však dále zpracovávána třetími stranami a práce se na nich doposud nezastavily. Jako příklad lze jmenovat Consorcium for Spatial Information [9]. Cílem dalšího zpracování dat je odstranění chyb, jako jsou studny nebo ostré vrcholy, a doplnění prázdných oblastí [10]. Studny jsou jednobodové chybně změřené hodnoty, které vytvoří v daném bodě realitě neodpovídající propadlinu. Ostré vrcholy jsou stejný problém, ale nepřesnost měření se projevuje směrem vzhůru. Prázdné oblasti jsou vyplňovány různými aproximačními metodami, případně převzetím dat z jiných i lokálních modelů.

Výsledkem jsou velmi dobře použitelná data s minimem chybných bodů a téměř žádnými prázdnými oblastmi.

Originální data jsou dostupná k všeobecnému použití zdarma. Data upravená třetími stranami mohou být dostupná zdarma i za poplatek. V případě zmiňovaného konsorcia, Consorcium for Spatial Information, jde o volné použití pro nekomerční účely.

2.2.3 ASTER GDEM

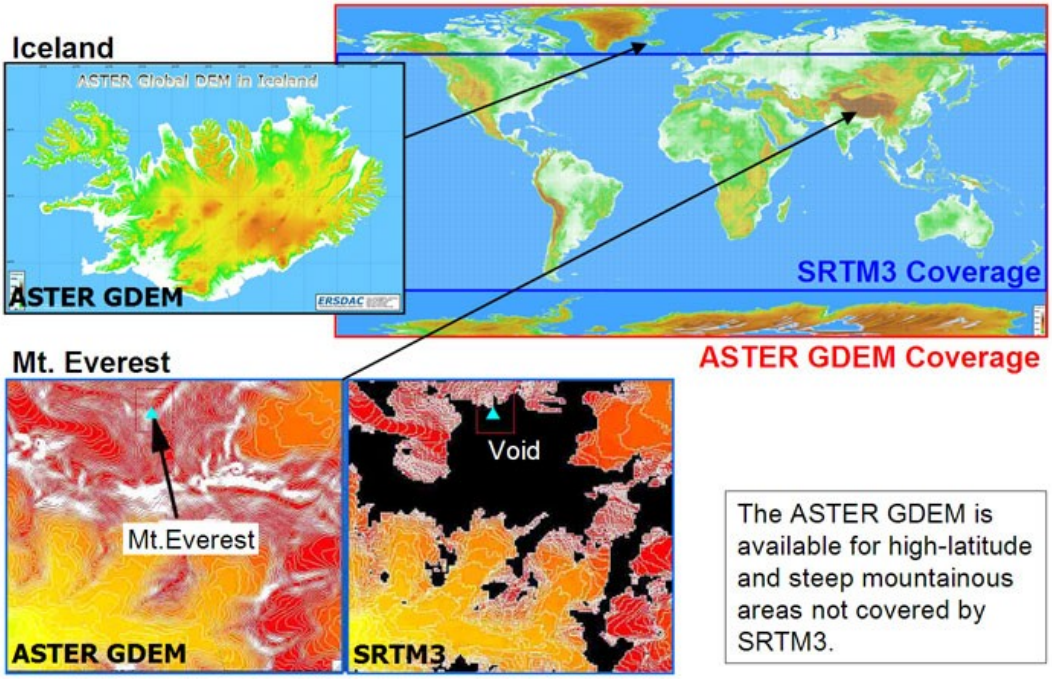
Název modelu je odvozen od názvu multispektrálního skeneru na družici Terra (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer). GDEM pak značí

Global Digital Elevation Model. Jedná se o projekt, který vznikl ve spolupráci kosmické agentury NASA a japonského Ministerstva obchodu a průmyslu (METI). První verze byla uvolněna v roce 2009, ale již zpočátku byla označována za neúplnou, na které je ještě potřeba pracovat. V říjnu 2011 byla uvolněna verze 2 [11].

[12] Model má podobu pravidelné sítě výšek vzdálených od sebe 1 úhlovou vteřinu (asi 30 m na rovníku), což je podobné jako u modelu SRTM1. Pokrývá oblast od 83 ° jižní šířky do 83 ° severní šířky. Výšková chyba je uváděna přibližně mezi 7 a 14 metry. Oblasti, které nebylo možné nasnímat z důvodu stálého pokrytí oblačností, byly dopočítány a doplněny z jiných modelů. Proto model neobsahuje prázdná místa bez dat.

Porovnání STRM3 a ASTER GDEM

Z [12] je dobře patrný rozdíl v pokrytí území a příklad prázdných oblastí bez dat v případě SRTM3 v oblasti Himaláje (viz obr. 5).



Obrázek 5: Porovnání oblastí pokrytých modely SRTM a ASTER GDEM (převzato z [12])

2.2.4 GMTED2010 (Global Multi-resolution Terrain Elevation Data 2010)

The U.S. Geological Survey (USGS) a The National Geospatial-Intelligence Agency (NGA) spolupracovaly na vývoji modelu výškových dat, který má nahradit starší model GTOPO30 [13]. Nový model je významně přesnější a je dostupný v několika rozlišeních. 30, 15 a 7,5 úhlového stupně. Je sestaven z v současné době nejlepších globálních

výškových dat. Mimo jiné obsahuje i agregační data pro určité oblasti, jako jsou minimální výška, maximální výška, průměrná výška, medián výšky, standardní odchylka výškových dat a některá další. Pro aplikace, které tato data využijí, je to značný přínos, protože není vždy možné věnovat množství výpočetního výkonu do podobných výpočtů. Zvláště v mobilních zařízeních. I když je model určen především jako náhrada GTOPO30, který je pro použití realisticky vypadajícího terénu v regionálních měřítcích nedostatečný, nejpřesnější varianta GMTED2010 již při mírně snížených požadavcích na hustotu výškových dat může být použitelná.

2.2.5 Porovnání modelů

	GMTED2010	ASTER GDEM	SRTM	GTOPO30
Generování a distribuce dat	USGS, NGA	METI, NASA	NASA, USGS	USGS
Rok uvolnění	2010 ~	2009 ~	2003 ~	1996 ~
Hustota mřížky (úhlové vteřiny)	30'', 15'', 7,5''	1''	3''	30''
Hustota mřížky m (rovník)	1000 m, 500 m, 250 m	30 m	90 m	1000 m
Přesnost výšek	6 m	7 m – 14 m	10 m	30 m
Pokrytí	úplné	mezi 83 ° severní a jižní šířky	mezi 60 ° severní a 54 ° jižní šířky	úplné
Oblasti chybějících dat	žádné	oblasti trvale zakryté oblačností jsou nahrazeny daty z jiných modelů	topograficky příkré oblasti	žádné

Tabulka 3: Porovnání modelů výškových dat. (převzato z [12] a doplněno z [13])

Poznámka

Všechny zmíněné digitální modely výškových dat pracují se souřadnicovým systémem WGS 84 [14].

2.3 LOD algoritmy

Zobrazování rozsáhlých terénů v reálném čase klade vysoké nároky na hardware, který se se zobrazením musí vypořádat. V současné době není možné na běžných pracovních stanicích zobrazovat detailní terén do vzdálenosti desítek či stovek kilometrů od pozorovatele jen hrubou silou bez redukce výpočetní náročnosti. Algoritmy, jejichž principy jsou uvedeny dále, mají za úkol omezit počet operací nutných pro zobrazení terénu tak, aby pozorovatel buď nepoznal žádné snížení kvality, případně aby snížení kvality obrazového výstupu, které bývá obvykle k dosažení cíle nutné, bylo přiměřené a většinou pozorovatelů akceptovatelné jako cena za to, že je terén vůbec možné v požadovaném rozsahu zobrazit. S tímto přístupem koresponduje zkratka LOD, která je z anglického level of detail – česky úroveň detailu, což je parametr, který se obecně u 3D modelů (v našem případě jde o modely terénu) může měnit.

2.3.1 Zaručená kvalita terénu vs. zaručená rychlost zobrazení

Funkce algoritmů se liší v závislosti na chápání jejich smyslu. Všechny typy těchto algoritmů mají za úkol zkrátit délku výpočtů nad terénem. Pracují na základě dvou hlavních principů.

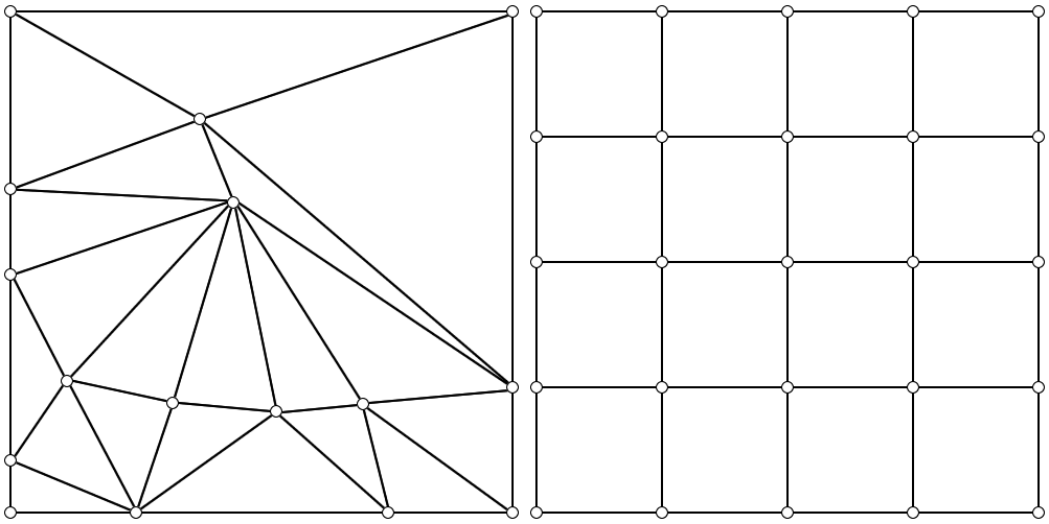
První typ algoritmů má za úkol dosažení určité měřitelné kvality zobrazení. Touto kvalitou může být konstantní počet snímků za sekundu (dále fps, z anglického frames per second) nebo konstantní počet zobrazovaných trojúhelníků. Nabízí se otázka, jaký je mezi těmito metrikami rozdíl, pokud je program spouštěn na srovnatelné konfiguraci hardwaru. Pokud by program nedělal nic jiného, než zobrazoval terén, pak by tyto metriky pravděpodobně dávaly shodné výsledky jak z pohledu kvality terénu, tak z pohledu rychlosti vykreslování. Reálná aplikace s touto vlastností by však byla výjimkou. Skutečné aplikace zobrazující terén počítají běžně i další úlohy. Např. fyziku letu letadel v leteckém simulátoru nebo mechaniku pohybu vodní masy v závislosti na terénu v hydrologické aplikaci. Lze tak jen těžko zajistit stálou výpočetní kapacitu volnou jen pro výpočty nad terénem. Z právě popsaného plyne, že algoritmus zajišťující vykreslování konstantního počtu trojúhelníků tutéž úlohu zvládne v určitém rozptylu časů podle vytížení hardwaru ostatními činnostmi. Analogicky algoritmus, který vykresluje terén v konstantním čase, stihne za podobných podmínek vykreslit vždy různý počet trojúhelníků.

V množství jiných algoritmů se lze setkat s odlišným přístupem. Jakékoli zajišťování kvality, ať už vizuální nebo rychlostní, s sebou nese nutnou režii. Pokud se od této režie oprostíme, lze využít ušetřený výkon k více výpočtům, což může přinést rychlejší vykreslování nebo lepší kvalitu terénu, což záleží na zamýšleném použití algoritmů. Jedná se ale jen o obecné odhady a průměrné hodnoty. Proto výrazně záleží na účelu aplikace, v níž má být algoritmus použit.

Všechny algoritmy mají společnou jednu vlastnost. Musí pracovat s terénními daty. Velkou roli v rychlosti provádění algoritmu mohou hrát především následující 2 faktory. Zvolený vstupní model dat a dále uspořádání terénních dat v paměti a práce s nimi při výpočtech.

2.3.2 Nepravidelná trojúhelníková síť a pravidelná mřížka

Výšková data pro využití LOD algoritmem mohou být zadána ve formě nepravidelné trojúhelníkové sítě (v anglických textech označováno TIN – triangulated irregular network) nebo pravidelné mřížky (rastr), jak je zmíněno v [15].



Obrázek 6: Vlevo TIN, vpravo rastr. (podle [16], str. 189)

TIN

TIN umožňuje při použití srovnatelného počtu bodů popsat terén daleko přesněji než rastr. Ploché oblasti totiž mohou být modelovány body daleko od sebe, což u rastru kvůli jeho podstatě lokálně zajistit nelze. Ušetřené množství bodů lze využít při modelování členitých oblastí [16] (viz obr. 6 vlevo).

Další potenciální výhodou TIN uspořádání je možnost modelování terénních převisů a teoreticky i jeskyní. Je tomu tak proto, že body modelu nesou informaci o poloze i výšce.

Popisná síla TIN modelu se však v praxi projeví častěji na jiných terénních útvarech. Dokáže mnohem lépe kopírovat například břehy řek či jiné terénní linie, které by byly v podání rastru více zubaté.

Rastr

Jednoznačná a hlavní výhoda rastru plyne z jednoduchosti a pravidelnosti uspořádání jeho bodů. Díky tomu je možné s rastrem jednodušeji algoritmicky pracovat, což se může projevit v počtu nutných výpočtů nad terénem a tudíž i v rychlosti vykreslování.

Pravidelné uspořádání (viz obr. 6 vpravo) má také výhodu, že na rozdíl od TIN stačí, aby každý uzel mřížky obsahoval pouze údaj o výšce. Když je navíc známá vzdálenost sousedních bodů, souřadnice kteréhokoli jednoho bodu a rozměry mřížky, lze snadno

dopočítat souřadnice libovolného bodu rastru. Když uvážíme u obou sítí podobný celkový počet bodů, je řešení rastru významně datově úspornější.

2.3.3 Myšlenkový vývoj algoritmů vzhledem k vývoji hardwaru

Na vývoj a myšlenky algoritmů je dobré nahlížet způsobem, který nezkoumá jen jednotlivé algoritmy jeden po druhém bez souvislostí mezi nimi, ale jejich vznik a myšlenky bere v kontextu s okolním světem. Zejména pak s vývojem hardwaru, bez kterého by algoritmy byly jen hrstkou matematických výrazů bez užitku. V devadesátých letech začalo mít smysl vyvíjet algoritmy, které by dovolovaly zobrazování terénu v reálném čase. Díky výkonu tehdejších strojů bylo nutné pečlivě vybrat data, která měla vliv na zrovna zobrazovanou scénu, a výpočty dělat jen na nich. Jakákoli další zbytečná, nesprávně vybraná počítaná data měla zásadní vliv na rychlost vykreslování. Chtělo by se říct, že s rostoucím výkonem komponent by se zmenšovalo procento času stráveného výběrem těchto dat. To by byla pravda jen za předpokladu, že by současně nerostly nároky na velikost a kvalitu zobrazovaného terénu, což neodpovídá realitě.

Zásadní zlom ve filosofii algoritmů tedy způsobil až nástup programovatelných grafických karet, které dosahují vysokého výpočetního výkonu. Praktický význam je, že může být výhodnější nezabývat se tolik selekcí dat nutných pro vykreslení scény, o jejichž výběr se stará procesor, ale raději nechat grafickou kartu, ať zpracuje více dat, která dostane k dispozici o něco dříve díky jejich méně sofistikovanému výběru, a má tak na výpočty více času.

V praxi se toto rozlišení uplatňuje např. u tzv. diskrétních LOD algoritmů, které pracují s předpočítanými částmi terénu v různých úrovních detailu, které k sobě skládají do podoby výsledného terénu, a kontinuálních LOD algoritmů, které vždy modifikují právě vykreslovaný model terénu přidáváním a odebíráním některých vrcholů [16].

Další zrychlení prováděných algoritmů souvisí s možným převodem některých výpočtů procesoru na grafickou kartu, případně s modifikací počítaných dat a dílčích výpočtů způsobem, aby bylo možné využít vysoké paralelizace grafické karty [17]. To sice není specifikum jen LOD algoritmů, ale promítá se i do této oblasti.

Popis a porovnání některých používaných LOD algoritmů určených pro terény lze nalézt v [16], [18], [19] a [20].

3 Textury pro terén

K výběru textur pro realistický vzhled terénu lze přistupovat mnoha způsoby podle požadavků na důležitost informací zobrazovaných na povrchu terénu. V zásadě jsou tři hlavní přístupy. Jako textury lze použít fotografie, mapu nebo jakýkoli jiný specifický typ textur, kterým se kvůli jeho variabilnosti nemá význam blíže zabývat.

3.1 Fototextury

Pro realistický přírodní vzhled terénu je vhodné použít jako textury letecké či satelitní snímky terénu, jako je ukázáno v levé části obrázku 7. Stačí si vzpomenout například na službu Google Earth [21], kde zobrazený terén vypadá velmi realisticky. Realistického vzhledu lze ale dosáhnout jen za použití dostatečně kvalitních textur. Tím se dostáváme k jedné ze dvou hlavních nevýhod použití fototextur. Je jí velký objem datového prostoru, o který si kvalitní textury řeknou. Druhou nevýhodou je ze všeobecného pohledu nesnadná dostupnost volných dat, zvláště v globálním měřítku.

3.2 Mapa

Pokud jde v aplikaci zobrazující terén především o místopisnou orientaci, hodí se lépe jako textura mapa (viz obr. 7 vpravo). V globálním měřítku byla do roku 2004 situace s volně dostupnými mapami do jisté míry podobná jako u fotografií terénu. Kromě toho při vývoji aplikací využívajících mapy nejde zpravidla jen o obrázky, ale i o další metadata popisující mapovanou oblast. Pro konkrétní případ použití map jako textury pro terén nemusí být tato metadata příliš důležitá. Naráží se zde ale na problém přizpůsobitelnosti dostupných map pro účel texturování. Může se to týkat rozměrů obrázků v obrazových bodech i území, které dané části mapy pokrývají. Především kvůli licenčním problémům s využitím nejrůznějších mapových podkladů k vlastním účelům, vznikl v roce 2004 projekt OpenStreetMap [22].

Obrázek 7: Vlevo fototextura, vpravo mapa. (získáno pomocí služby Google Mapy, www.maps.google.cz)

3.3 OpenStreetMap

Hlavním mottem a účelem projektu OpenStreetMap je tvorba a poskytování geografických dat celého světa komukoli, kdo o ně má zájem. Tvořit mapy v tomto projektu může každý a tvorba je z převážné části závislá na dobrovolnících. To může být výhoda v obrovské komunitě, která kolem OpenStreetMap roste, ale zároveň přístup přináší i jisté nevýhody. Správnost dat není možné nijak účinně hromadně ověřovat a celý systém vede k velké nevyváženosti mapovaných území, kdy nejosídlenější oblasti jsou zmapovány do detailů, kdežto málo osídlené oblasti, které zná málo přispěvatelů nebo žádný, jsou zmapovány jen zhruba nebo vůbec. Dá se ale předpokládat, že jak bude čas plynout, i dosud hůře zmapované oblasti se dostanou na řadu. V rámci projektu se shromažďují jen 2D polohová data. Data potřebná například pro vrstevnice bývají převzata z digitálních výškových modelů (viz kap. 2.2).

Nejčastěji požadovaným produktem projektu je mapa v obrazové formě. V základu však jde o rozsáhlou databázi dat, ze kterých jsou obrazová a jiná data tvořena a pro vývojáře má přístup k těmto datům zásadní význam. Informace o celém projektu je možné nalézt v [23].

3.3.1 Systém dat

Data zadávaná do databáze se dělí na tři hlavní stavební prvky.

Uzly – mají zeměpisné souřadnice (typicky vrcholy kopců, lampy pouličního osvětlení, stožáry elektrického vedení…)

Cesty – skládají se z posloupnosti uzlů (typicky silnice, železnice, hranice lesů, budov)

Relace – skládají se z cest i jednotlivých uzlů, kterým je přiřazena nějaká vlastnost (např. adresa (uzel) přiřazená k domu, který je reprezentovaný cestou)

Aby bylo možné vytvořit srozumitelnou mapu, je potřeba znát nejen odkud kam vede např. nějaká cesta, ale pochopitelně i co tato cesta reprezentuje. Konkrétní význam uzlům, cestám a relacím dávají atributy.

Atributy – mohou být přiřazeny uzlům, cestám i relacím. Mají formu <klíč> <hodnota>. Cílem je používání co nejvíce standardních atributů, nicméně mohou být vytvářeny a používány i nové.

Možnosti a způsoby spolupráce na tvorbě map jsou popsány v [22].

Jak zadávat do databáze nová data a jaké existují způsoby pro nabytí těchto dat, je popsáno v [24]. Z úhlu pohledu práce se nejedná o tolik zajímavou oblast.

3.3.2 Renderování obrazových dat

Celkový vzhled a vypovídající hodnotu mapy ovlivňují styly kresby jednotlivých komponent, z nichž se mapa skládá (silnice, železnice, vodní toky atd.). Stejně tak, ne-li dokonce

více, ovlivňuje informační hodnotu mapy výběr zobrazovaných informací. Je naprosto zřejmé, že jiné informace bude v mapě hledat pěší turista a jiné například pilot. V této oblasti OpenStreetMap nabízí naprostou volnost a flexibilitu z důvodu přístupnosti databáze.

Poznámka

Databázová data z OpenStreetMap lze využít i k jiným účelům než renderování obrázků. Vhodným využitím může být zobrazení informativních textů nad patřičným bodem terénu. Například názvy obcí nebo kóty kopců.

3.3.3 Filtrování dat

Veškerá dostupná data pro renderování mapy určeného území tedy zpravidla nejsou potřebná. Vzhledem ke koncepci projektu je možné pracovat jen s vybranými daty, která je možné z celkového balíku vyfiltrovat.

Filtrování podle území

Celý balík dat je přístupný v obrovském XML souboru planet.osm[2]. Na počátku prosince 2011 měl tento komprimovaný soubor velikost 19 GB, nicméně pro další zpracování je nutné jej dekomprimovat, čímž jeho velikost naroste na zhruba 150 GB. Soubor planet.osm modifikují a dále distribuují i třetí strany. Lze tak stáhnout shodná data v méně objemném formátu PBF[25] či různé extrakty dat. Obvykle podle určitých území (kontinenty, některé státy…). Kromě využití zmíněných služeb si lze individuálně vytvořit vlastní extrakt pomocí nástrojů jako je například Osmosis [26] a omezit tak velikost dat určených pro další zpracování na přijatelnou úroveň. Extrahovat lze takto oblast ohraničenou obdélníkem, ale i složitějším polygonem. Pro zisk dat za účelem tvorby textur na terén se však běžněji využije právě obdélník.

Filtrování podle potřebných informací

Další úsporu na straně velikosti zpracovávaných dat může znamenat odstranění informací, které nejsou pro daný účel potřebné. Díky struktuře a označení dat lze tato data poměrně snadno vyhledat a odstranit. Pro běžnou silniční dopravu mohou být nepotřebné polní cesty, jednotlivé domy nebo již vzpomínané kóty kopců, stejně jako dětská hřiště, obchodní domy a ostatní občanská vybavenost. K tomuto účelu poslouží stejně dobře jako k ořezání území například již zmiňovaná aplikace Osmosis.

Data lze filtrovat na základě vyloučení nebo vybrání všech uzlů, cest či relací nebo také pomocí atributů popisujících tyto elementy. Klíče atributů a jejich hodnoty lze nalézt v [27].

[2] OSM je typ xml souboru sloužící pro uchování dat OpenStreetMap [28]

Příklady popisných atributů

Klíč	Hodnota	Popis
highway	*rest_area*	Místo, kde řidiči mohou opustit silnici a odpočinout si, ale ne dotankovat.
highway	*traffic_signals*	Semafor.
traffic_calming	*yes*	Slouží k označení zařízení sloužících ke zpomalení dopravy v obytných oblastech.
aeroway	*runway*	Vzletová a přistávací dráha.
amenity	*drinking_water*	Pitná voda.

Tabulka 4: Vybrané popisné atributy OSM dat. (vybráno z [27])

3.3.4 Možnosti získání mapových podkladů jako textur

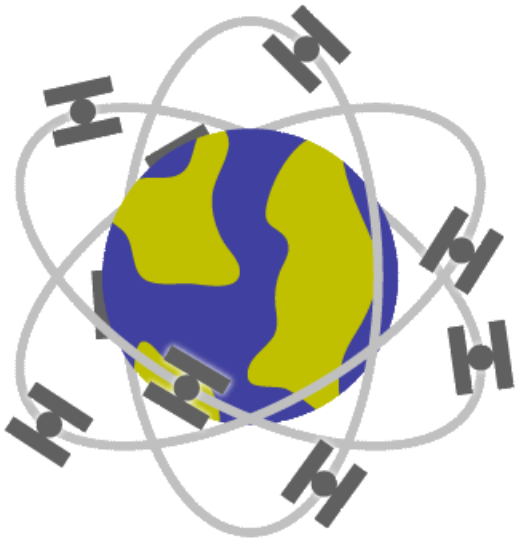
Možností získání mapových podkladů z dat OpenStreetMap je několik. Je možné využít některého z mnoha projektů zmíněných v [29]. Jedná se o rychlostně optimalizovaná, ale poměrně komplikovaná řešení pro servery poskytující mapové služby i o méně složité renderery vhodné pro jednorázové vytvoření například mapy města. Stejně tak lze nalézt projekty zaměřené pro renderování map přímo na mobilních zařízeních.

Druhou možnou variantou je využití některé webové služby, která přímo poskytuje mapové dílky pro stažení. Dobrým příkladem je projekt Cloudmade [30]. Kromě přístupu k mapám generovaným z dat OpenStreetMap poskytuje uživatelům taktéž možnost tvorby vlastních vizuálních stylů mapy, což je velmi užitečná služba.

Poslední možností je pak tvorba vlastního rendereru optimalizovaného pro potřeby konkrétní aplikace. Existující řešení totiž nemusí vyhovovat například z důvodu kompatibility použitých programovacích jazyků.

4 Záznam polohových dat a jejich analýza

Pro účely analýzy letu kluzáku je nutné získat trajektorii jeho letu. To je dnes možné s vysokou přesností díky globálním navigačním satelitním systémům [31]. Dnes jsou v provozu satelitní systémy GPS (Spojené státy americké) a GLONASS (Rusko), na rok 2015 je prozatím naplánováno spuštění systému Evropské unie, Galileo. Všechny tyto systémy jsou založeny na shodném principu. Na oběžné dráze kolem Země obíhají satelity (zjednodušeně ukázáno na obr. 7), které vysílají směrem k zemskému povrchu rádiový signál. Jde o množství (systém od systému se liší), které spolehlivě zabezpečí dostatečný počet satelitů, který je vidět nad obzorem v každém okamžiku téměř z kteréhokoli místa na zemském povrchu. Slovo téměř je zde použito z důvodu, že například systém GPS má problémy s přesným určením pozice v polárních oblastech. Komunikace satelitů s přijímači signálu je ze strany satelitů plně pasivní. Přijímače jsou schopny analyzovat signál přicházející z více satelitů současně a na jeho základě určit polohu na zemském povrchu a nadmořskou výšku (pro určení polohy je zapotřebí signálu z aspoň 3 satelitů, pro určení polohy i výšky ze 4 satelitů).



Obrázek 8: Zjednodušený model principu drah satelitů GNSS na oběžné dráze Země. (převzato z [32])

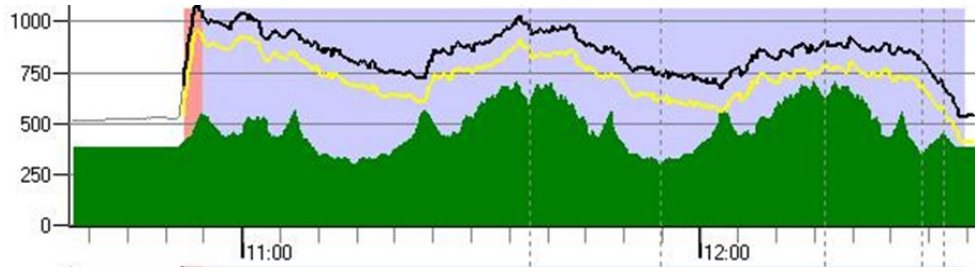
GLONASS je v současné době v obnovovací fázi a plně funkční je jen na území Ruska. Proto jsou nejrozšířenější GPS přijímače. Systém Galileo má být do značné míry kompatibilní s GPS, což usnadní jeho nástup a používání ze strany již existujících zařízení a technologií. Důvod jeho vzniku je mimo jiné obava z možnosti, že USA mohou kdykoli systém GPS veřejnosti znepřístupnit. Zajímavým projektem je také regionální čínský systém CAPS, o němž se lze více dozvědět z [33]

4.1 Zařízení pro záznam letu

Pro záznam trajektorie letu lze použít jakékoli zařízení, které dokáže v pravidelných, dostatečně malých intervalech přijímat signál z některého pozičního systému a zaznamenávat zeměpisnou polohu, čas a nadmořskou výšku. V budoucnu ani nemusí jít o přijímání signálu zrovna ze satelitů.

Jedním z leteckých odvětví, ve kterém se ve velké míře tato zařízení uplatňují, je i plachtění. Zejména pak soutěžní plachtění, zaznamenávání rekordních sportovních výkonů apod. Tyto činnosti v mezinárodním měřítku zastřešuje mezinárodní plachtařská komise (IGC – International Gliding Comission). Podle touto komisí nastavených pravidel, musí mít každé zařízení, které slouží pro záznamy letů kluzáků, také snímač atmosférického tlaku, z jehož údajů je dopočítávána nadmořská výška. Tato zařízení musí být plachtařskou komisí certifikována. Aktuálně evidovaná zařízení jsou dostupná v [34]. Všechny dále uvedené zmínky o zařízeních přijímajících signál z GNSS budou označovat zařízení s uvedenými vlastnostmi. Souhrnně budou nazývána GNSS zařízení.

Jedním z důvodů tohoto nařízení je například sledování dodržení maximální letové hladiny (anglicky FL – flight level) během letu kluzáku. Letová hladina je výška naměřená barometrickým výškoměrem, který za tlaku 1013,25 hPa ukazuje nadmořskou výšku 0 m. Z toho je patrné, že za reálných podmínek, kdy je tlak u hladiny moře různý od 1013,25 hPa, ukazuje na mořské hladině tento výškoměr jinou výšku než 0 m. To je samozřejmě nešikovné například z pohledu měření výšky nad terénem, ale v letecké dopravě je nutné letové hladiny synchronizovat podle lokálních atmosférických podmínek. Měření výšky podle přijatého signálu ze satelitů nemusí být vždy spolehlivé na 100 %, což je nežádoucí jev. Případ naměřené rozdílné tlakové a GPS výšky ukazuje obrázek 9.



Obrázek 9: Rozdíl v záznamu GPS výšky a výšky tlakové. (převzato z [35])

4.2 Analýza dat

Jak již bylo zmíněno, zařízení pro záznam letu mají schopnost zaznamenávat v konkrétním čase svoji polohu a nadmořskou výšku. S těmito informacemi si tedy musíme vystačit při výpočtech a nutno podotknout, že často i jen při odhadech všech dalších hodnot. Bod definovaný těmito informacemi bude dále nazýván **fix**.

K čemu je analýza letu užitečná

Obecně vzato je v běžném životě analýza letu potřebná především v případech, kdy dojde k nějakému incidentu či nehodě a je třeba situaci vyšetřit a do budoucna eliminovat možná rizika příčin. Pak lze téměř v reálném čase sledovat let libovolného letadla. Vzhledem k motivaci práce, jíž je let kluzáku a plachtařské létání, slouží analýza letu především pro vyhodnocování plachtařských výkonů. Děje se tak na soutěžích i v soukromí každého z pilotů, který může opakovaně záznam letu shlédnout a chlubit svým výkonem, případně může různé výkony přímo porovnat. Ač se zdá pýcha na vlastní výkony jako malicherný důvod, je ve skutečnosti jedním z hlavních, ne-li dokonce nejdůležitějším, díky nimž vznikají plachtařsko-analytické aplikace. Dalším, ačkoli v praxi méně využívaným a možná i méně využitelným případem, je vypozorování stylu letu zkušených plachtařů a předávání takto nabytých znalostí méně zkušeným jedincům a žákům.

Z těchto pohnutek lze odvodit informace, které by aplikace pro analýzu letu kluzáku mohla nabízet. Je také namístě rozebrat, které z informací jsou použitelné pro obecný let (i motorový) a které jsou specifické pro plachtařský styl létání.

4.2.1 Informace důležité pro běžný let

Jedná se o informace, které mohou být zkoumány při studování obyčejného letu často z jednoho stanoviště na jiné, případně letu do jisté oblasti bez konkrétního cíle. Například jen pro zábavu nebo jako poznávací či orientační let. Takový let může být proveditelný i s kluzákem, ale nejedná se o typický let kluzáku.

Letové údaje

- ***Rychlost vůči zemi*** (GS[3])
- ***Pravá vzdušná rychlost*** (TAS[4]) – rychlost letadla vůči zemi po odstranění vlivu větru
- ***Indikovaná vzdušná rychlost*** (IAS[5]) – rychlost letadla vůči vzduchové mase okolo něj, kterou ukazuje rychloměr. Ve své podstatě je to pravá vzdušná rychlost opravená o hustotu okolního vzduchu.

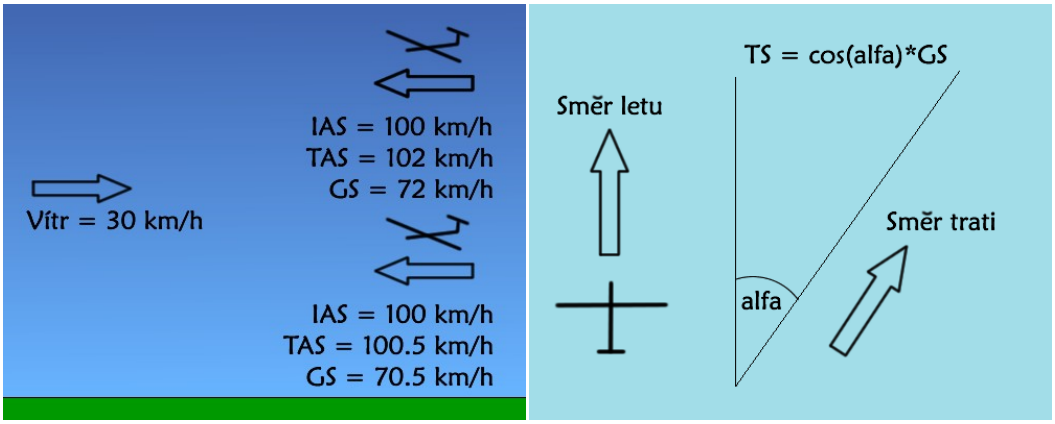
Poznámka

Hustota vzduchu v atmosféře se mění s teplotou a nadmořskou výškou [36]. To znamená, že pokud by se například TAS a IAS u hladiny moře rovnaly, se vzrůstající výškou by při zachování ostatních podmínek letu TAS stoupala, ale IAS by zůstávala konstantní.

- ***Rychlost v úloze*** (TS[6]) – rychlost letu vůči zemi ve směrové složce pohybu odpovídající směru stanovené trati.

[3] GS – z anglického ground speed
[4] TAS – z anglického true air speed
[5] IAS – z anglického indicated air speed
[6] TS – z anglického task speed

Vzájemné relace popsaných hodnot a výpočet TS jsou ilustrovány na následujícím obrázku.



Obrázek 10: Vlevo je vidět princip změny rychlostí vzhledem k větru a výšce. Vpravo je pak znázorněn výpočet TS. [o2]

- ***Nadmořská výška***
- ***Výška nad terénem*** – rozdíl nadmořské výšky letu a nadmořské výšky terénu
- ***Čas*** – čas v konkrétním místě letu

Statistické údaje

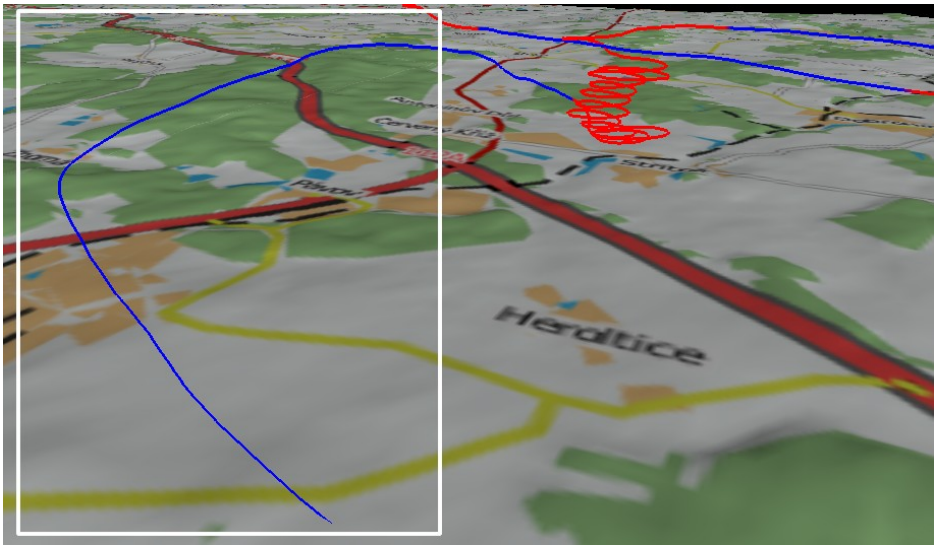
- ***Doba letu*** – časový úsek mezi startem a přistáním
- ***Uletěná vzdálenost*** – součet všech vzdáleností mezi sousedními fixy
- ***Průměrná rychlost*** – průměrná rychlost za celý let (uletěná vzdálenost/doba letu), průměrná rychlost v jednotlivých fázích letu – např. mezi otočnými body

4.2.2 Další Informace, zajímavé speciálně pro let kluzáku

Let kluzáku se ve většině případů značně liší oproti letu motorových letadel při uvažování bezproblémového počasí a terénu v okolí letu. Zatímco motorové letadlo letí často v konstantní nadmořské výšce směrem, kterým v nejkratším čase (po nejkratší dráze) dosáhne cíle letu, kluzák musí pro udržení či získání výšky volit trajektorii letu vhodnou vzhledem k aktuálnímu počasí a okolnímu terénu. Některé informace týkající se letu kluzáku se dají využít i při hodnocení sportovních výkonů.

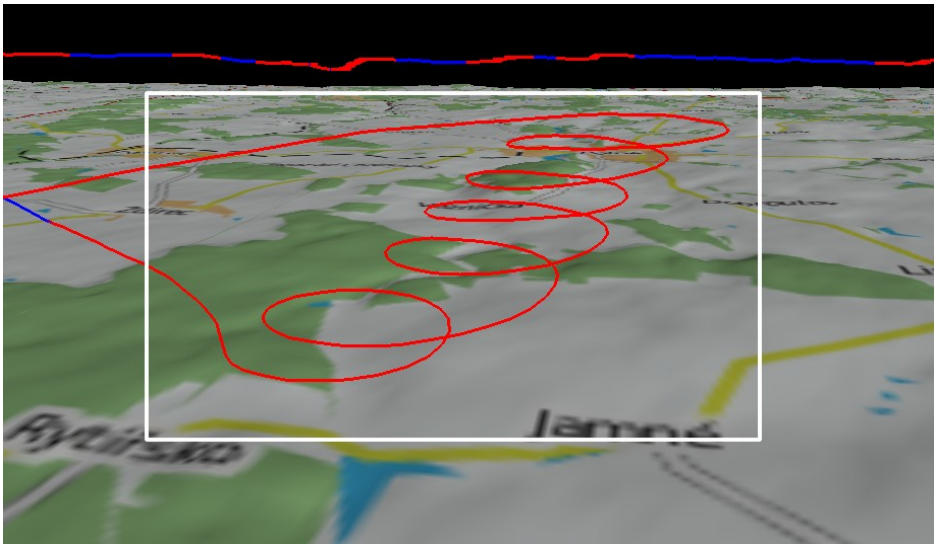
Fáze letu, které je zajímavé rozpoznat:

Start – obvykle za motorovým vlečným letadlem, vlastním pohonem u motorizovaného kluzáku, případně start navijákem. Často je vhodné tuto fázi letu oddělit od zbytku letu při vyhodnocování většiny statistických údajů, zvláště u sportovního výkonu.



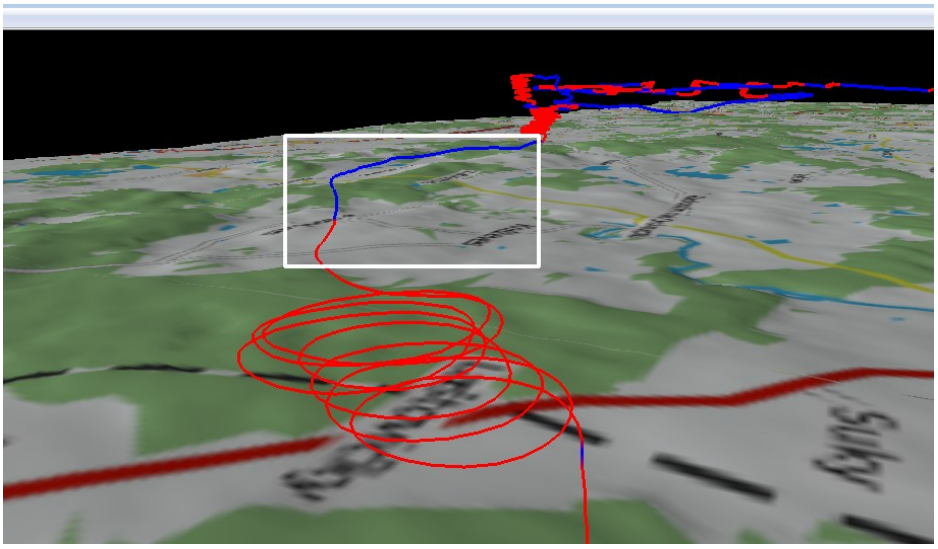
Obrázek 11: Bíle ohraničená oblast vyznačuje fázi letu označenou jako **start.** [o1]

Kroužení – kluzák během letu musí získávat výšku, kterou v další fázi letu promění v uletěnou vzdálenost. Ve většině případů se tak děje pomocí kroužení ve stoupavých proudech.



Obrázek 12: Bíle ohraničená oblast vyznačuje fázi letu označenou jako **kroužení.** [o1]

Klouzání – fáze letu, kdy se pilot snaží doletět z jednoho místa na jiné. Často jde o rovnější úsek letu.



Obrázek 13: Bíle ohraničená oblast vyznačuje fázi letu označenou jako **klouzání.** [o1]

Hodnoty zajímavé pro fázi kroužení i klouzání

Jedná se vesměs o statistické údaje popisující celou fázi letu.

- ***Průměrné stoupání/klesání***
- ***Výsledná změna výšky během celé fáze***
- ***Doba trvání fáze***

Hodnoty zajímavé jen pro kroužení

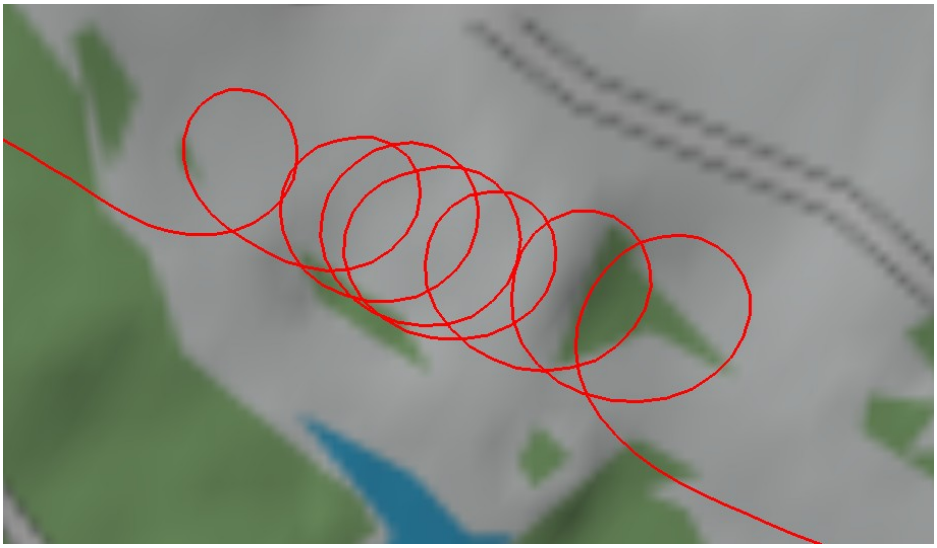
- ***Průměrné stoupání za posledních X sekund*** – X může nabývat různých hodnot v závislosti na preferencích pozorovatele
- ***Průměrné stoupání za celou fázi kroužení***

Hodnoty zajímavé jen pro klouzání

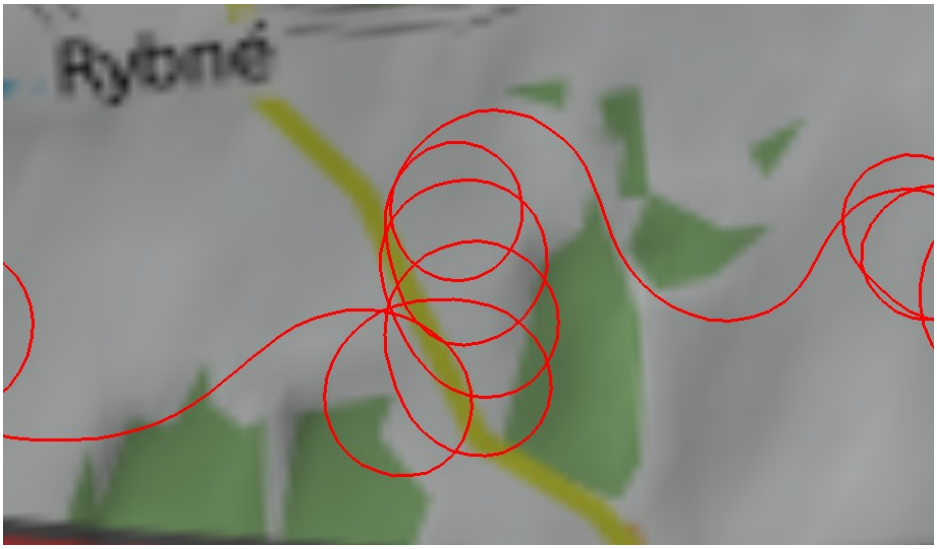
- ***Průměrná klouzavost*** – poměr uletěné vzdálenosti a vyklesané výšky
- ***Průměrná rychlost*** (IAS, TAS, GS i TS)
- ***Délka klouzání*** – součet vzdáleností všech sousedních fixů fáze
  – vzdálenost začátku a konce fáze klouzání (teoreticky může být i 0 m při uzavřené trajektorii). Vzdálenost se vypočítá jen podle zeměpisných souřadnic, nebere se ohled na změnu nadmořské výšky.

Problémy při zjišťování IAS a TAS

Jedinou rychlostí, která je exaktně spočitatelná z hodnot, které poskytují fixy, je GS. U IAS a TAS by závisely vypočítané hodnoty na odhadovaných veličinách. Pokud by všechny ostatní hodnoty zůstaly shodné, TAS by se lišila jen v závislosti na výšce letu a s tím spojené, měnící se hustotě vzduchu [36]. Uvažovaný model atmosféry však může být proti skutečnosti poněkud zkreslený. Pro výpočet IAS, od níž se však odvozuje i TAS, je třeba znát sílu a směr větru. Takové údaje ale GNSS zařízení přímo nezaznamenává. Přibližně se dají určit při analýze kroužení. Za předpokladu, že pilot létá v pravidelných kružnicích, dá se určit směr, kterým se kluzák pohybuje vůči zemi vlivem větru (viz obr. 14). Z velikosti a doby tohoto posunu lze usoudit průměrnou sílu větru během kroužení. To by se ale jednalo o ideální stav. Pilot v praxi nelétá takto pravidelně a síla a směr větru se také mohou výrazně měnit jak s výškou, tak se zeměpisnou polohou (viz obr. 15). Hodnoty IAS a TAS jsou tedy velmi přibližné a záleží jen na uživateli, jak jich dokáže při analýze využít.



Obrázek 14: Kroužení v relativně pravidelných kružnicích. Z tohoto záznamu by se dal směr větru určit poměrně přesně. Nepřesnost by pravděpodobně vznikla při určování síly větru díky nerovnoměrnému roztažení smyček. [o1]



Obrázek 15: Z tohoto kroužení by byl vypočten pravděpodobně nepřesný směr větru. [o1]

Výčet zajímavých hodnot rozhodně není úplný. Záleží na úhlu pohledu a zájmu pozorovatele, které hodnoty upřednostní pro svůj účel. Je ale dostatečně reprezentativní pro představu, které hodnoty jsou běžně pro piloty a zvláště plachtaře zajímavé, ze kterých lze do jisté míry analyzovat, jaké byly podmínky pro let, nebo porovnat výkony více pilotů mezi sebou.

5 Implementace

Cílem praktické části práce je navrhnout vlastní implementaci aplikace demonstrující zvolená řešení problému vizualizace a analýzy letu kluzáku s využitím Java Monkey Enginu (dále JME). Aplikace je postavena na verzi JME3 z počátku března 2011. JME umožňuje vývoj aplikací využívajících zobrazování 3D scény s použitím programovacího jazyka Java. Demonstrační aplikace je také naprogramována v Javě. Více informací o JME lze nalézt na webu projektu [37].

5.1 Terén

JME disponuje zabudovaným LOD (viz kap. 2.3) algoritmem GeoMipMap [19]. To je pro vykreslování terénu v reálném čase velmi důležitá schopnost. Vzhledem k možné rozsáhlosti zobrazovaného terénu takřka nepostradatelná.

5.1.1 Datový model terénu

Aby bylo možné terén vůbec zobrazit, je nutné získat potřebná terénní data. Jak bylo popsáno v kapitole 2.2, na výběr je z několika možností. Já jsem zvolil SRTM model. Jeho nevýhodou je neúplné pokrytí zemského povrchu. Pokud se ale přidržíme střední Evropy, jsou data dostatečně úplná. Na rozdíl například od modelu ASTER GDEM jsou data SRTM déle ve zpracovávacím procesu a jejich chybovost či neúplnost by měla být na relativně nízké úrovni. Hustotou dat je na tom ASTER GDEM lépe, nicméně hustota SRTM je pro plachtařské účely dostačující. Během vývoje aplikace jsem dokonce uvažoval o umělém snížení detailnosti terénu kvůli množství dat, která je takto nutné udržovat v paměti. Nakonec se ale zdá, že množství dat nepůsobí významný problém.

Aktuální výběr terénu do budoucna není žádné velké omezení, neboť ať se jedná o jakýkoli systém používající výškové pole o vlastnostech pravidelné mřížky, lze data uspořádat podobným způsobem a pro jejich načítání použít shodný princip.

Následující příklady jsou uvedeny pro terén na území České republiky. Do výsledného objemu spotřebované paměti aplikací se promítají i textury a další data, se kterými musí aplikace pracovat. Je ale zřetelně vidět, jak spotřebovaná paměť závisí na velikosti terénu. Momentální spotřeba paměti se také liší v závislosti na aktuální fázi garbage collectoru (GC) [38]. Proto je v tabulce 5 uvedena vždy minimální hodnota spotřebované paměti během cyklu GC v situaci, kdy se scéna nemění a všechna potřebná data jsou načtena.

Počet výškových bodů	Rozměr v kilometrech	Poměr velikostí terénů	Velikost dat v RAM	Poměr velikosti dat
513 x 385	33 x 35	1	38 MB	1
1153 x 385	74 x 35	2,25	73 MB	1,92
3969 x 1793	254 x 161	36,03	480 MB	12,63

Tabulka 5: Tabulka závislosti spotřebované paměti na velikosti zobrazovaného terénu.

Je zajímavé si všimnout, že velikost dat v RAM se zvětšuje pomaleji než plocha načteného terénu. V praxi ale rozhoduje velikost haldy JVM[7] [39], jejíž momentální velikost vývojář aplikace neovlivní.

5.1.2 Konverze dat datového modelu do vhodného formátu

Načítání terénních dat je operace, jejíž rychlost přímo závisí na množství načítaných dat a rychlosti úložiště, ze kterého jsou data načítána. Jako hlavní úložiště dat jsou v osobních počítačích v současné době stále nejběžněji zastoupeny pevné disky s otáčejícími se diskovými plotnami. Z tohoto faktu jsem vycházel při určování požadavků na načítaná terénní data. Nezávisle na úložišti je důležitým faktorem objem dat. Objemnější data se déle čtou. Problémy by také činilo rozdělení dat do mnoha malých souborů, jelikož přístupová doba není silnou stránkou klasických pevných disků. Na druhou stranu může být vhodné data rozdělit do více souborů kvůli snadnější distribuci a manipulaci s daty.. Třetím požadavkem je takové uspořádání dat, aby se načítalo co nejméně dat zbytečně.

Shrnutí požadavků

- co nejmenší objem dat
- rozdělení dat do přiměřeně velkých souborů
- takové uspořádání dat, aby se pokud možno načítala jen data, která jsou potřebná

Zpracované řešení

Výsledné řešení je vhodné pro získání dat v zadané oblasti podle zeměpisných souřadnic. Načtená data jsou zpracována a je z nich vytvořena pravidelná mřížka výšek. Tak zvaná výšková mapa. Data jsou ukládána do souborů ve čtvercových blocích. Každý soubor obsahuje území odpovídající mřížce uchovávající N×N výšek. N může být různé v závislosti na použitém datovém modelu podle hustoty výškových bodů, jiných vlastností modelu nebo současných či budoucích charakteristik úložných zařízení a ostatního hardwaru.

Pro model SRTM jsem na základě odhadu rychlosti načítání jako přibližně optimální stanovil N=300.

Zmenšení objemu dat

Myšlenka zmenšení objemu dat je poměrně jednoduchá. Jako vstupní data jsem použil soubory, ve kterých byly výšky zadány v textové podobě. Nejjednodušším postupem by bylo převést textové řetězce na čísla. Vzhledem k maximální nadmořské výšce terénu na Zemi menší než 8900 m a teoreticky největší hloubce okolo 11 km, pokud by se bral v úvahu zemský povrch bez ohledu na pokrytí vodou, by bylo možné každé číslo uložit na 2 B, což v Javě odpovídá datovému typu `short` (rozsah [-32768, 32767]). Díky relativně dobré komprimovatelnosti textu by také bylo možné na vstupní textová data použít některou z vhodných kompresních metod.

[7] JVM – Java Virtual Machine

V tomto případě však lze využít ještě další charakteristiky dat popisujících skutečný terén. V případě modelu SRTM jsou sousední body od sebe vzdálené na rovníku přibližně 90 m. Směrem od rovníku k pólům se tato vzdálenost ještě snižuje. Rozdíl nadmořské výšky mezi dvěma takto vzdálenými body bývá většinou relativně malý. Této skutečnosti lze využít k ukládání výškových rozdílů mezi sousedními body místo jejich absolutních výšek. Většina rozdílů se vejde do 127 m. Rozsah typu `byte` je -128 až 127 a jak napovídá název, zabírá 1 B paměti, což je polovina oproti typu `short`.

Rozhodl jsem se tedy využít tohoto rozsahu a hodnotu -128 ponechat jako symbol pro rozdíl výšek větší než 127. Větší výškové rozdíly je pak možné ukládat mimo hlavní proud dat jako absolutní výškovou hodnotu typu `short` (2 B). Tyto body tedy zaberou 3 B místo 2 B, ale vzhledem k jejich relativně nízkému počtu stále vysoce převažuje úspora ukládání ostatních hodnot na 1 B místo na 2 B.

Na již vytvořený soubor je dále aplikována komprese. Konkrétně Huffmanovo kódování [40].

Definice souboru výškové mapy

Následující text popisuje uspořádání dat binárního souboru, jaká data jsou obsažena, a styl a přesné pořadí, jak jsou uspořádána.

Název	Datový typ	velikost v Bytech	Vysvětlivky
N	`integer`	4 B	délka strany bloku (N)
S[] velikost	`integer`	4 B	velikost pole hodnot `short`
S[]	`short[]`	každá hodnota 2 B	obsahuje rozdíly mezi sousedními výškami, které jsou větší než 127 m. První taková nalezená hodnota je uložena na počátek pole, druhá nalezená je uložena jako druhá v pořadí atd.
1. bod	`short`	2 B	absolutní výška levého horního rohu
B[]	`byte[]`	každá hodnota 1 B	N×N-1 hodnot (-1 je kvůli již definovanému levému hornímu rohu). Obsahuje rozdíl výšek mezi zkoumaným a předchozím bodem. Pokud je rozdíl větší než 127, obsahuje hodnotu -128

Tabulka 6: Části souboru výškové mapy.

Příklad jednoduchého souboru

Původní výšková mapa				**Rozdíly výšek**			
250	300	320	390	xxx	50	20	70
210	260	300	320	-40	50	40	20
220	250	**390**	300	10	30	**140**	-90
300	280	340	**130**	80	-20	60	**-210**

`integer` **N** = 4

`integer` **S[] velikost** = 2

`short[]` **S[]** = **390 130**

`short` **1. bod** = 250

`byte[]` **B[]** = 50 20 70 -40 50 40 20 10 30 **-128** -90 80 -20 60 **-128**

Konečná posloupnost dat

4 | 2 | 390 130 | 250 | 50 20 70 -40 50 40 20 10 30 -128 -90 80 -20 60 -128

Výsledná velikost: **29 B**

4 4 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

Pokud by všechny výšky byly uloženy na 2 B, byla by celková velikost **38 B**.

Tyto hodnoty jsou uvažovány bez dodatečné komprese.

5.1.3 Terén v JME3

Jak již bylo zmíněno, pro vykreslování terénu v JME3 se využívá LOD algoritmus GeoMipMap.

Implementace algoritmu je postavena tak, že je možné zobrazovat pouze čtvercový terén určený výškovou mapou o rozměrech N×N bodů. Skutečný plachtařský let jen zřídka probíhá na čtvercovém území. Z toho plyne, že tento přístup vynucuje zobrazování nepotřebné části terénu, což znamená při vizualizaci více zátěže pro procesor a grafickou kartu. Zároveň se musí načíst více dat z pevného disku a data musí být uložena v paměti. Další režie přibývá s vytvářením textur pro větší oblast. Naproti všem těmto skutečnostem nestojí žádná zásadní výhoda plynoucí z větší zobrazené oblasti terénu.

Pro potřeby vyvíjené aplikace jsem poupravil algoritmus tak, že je možné načíst i obdélníkový terén. Bloky terénu uložené v kvadrantovém stromu jako listy, které nejsou pro vykreslení terénu potřebné, jsou nahrazeny hodnotou `null`.

5.2 Textury

Kvalitní model terénu je nutným základem pro některé výpočty analýzy letu. Analýza není jen množství spočítaných hodnot, které jsou uživateli předloženy, aby si je prostudoval a udělal si z nich nějaké závěry. Velmi podstatnou částí analýzy při hodnocení letu je situace, kdy uživatel analyzuje i pouhým pohledem. Z tohoto důvodu je potřebné, aby terén přinášel i jiné informace než jen informace o reliéfu za pomoci stínování. Tyto další informace je na terén možno přenést pomocí textur.

Mapa

Vhodná mapa nejlépe podává místopisné informace a slouží k nezbytné orientaci v terénu podle obcí, lesů, řek či dopravních komunikací.

Fototextury

V kombinaci s některými údaji z mapy mohou být vhodnou alternativou k mapě. Nevýhodou tohoto řešení je však vyšší datová náročnost, zpravidla nedostatečná kvalita obrázků a jejich špatná volná dostupnost.

Nadmořská výška

Stejně jako v mapách popisujících terén, lze nadmořskou výšku vyjádřit pomocí barev. Vhodné je klasické ladění nížin do zelené barvy a s přibývající výškou přechod v čím dál tmavší hnědou až bílou na samotných vrcholcích velehor.

Vrstevnice

Pro dokreslení zvlnění terénu může být vhodné označit místa se shodnou nadmořskou výškou vrstevnicemi. V kombinaci s ostatními informacemi ale mohou být již vrstevnice nadbytečné, či dokonce mohou ztížit vnímání ostatních aspektů.

Vzhledem k popsaným možnostem projektu OpenStreetMap je ideálním kandidátem pro získání mapových podkladů pro textury. Fototextury jsem kvůli obtížnosti získání vyloučil. Zajímavým a technicky realizovatelným řešením by mohla být kombinace mapy se zobrazením nadmořské výšky. Je ale otázkou, zda by proměnlivost základní barvy textury nezpůsobovala obtížnější orientaci v ostatních zobrazovaných datech.

5.2.1 Možnosti získání textur z dat OpenStreetMap

Možností, jak se vypořádat se získáním textur z dat OpenStreetMap je více. Je možné využít některého z existujících rendererů, který se zprovozní lokálně vedle vizualizační aplikace, vytvořit renderer na míru vlastní potřebám, upravit podobným stylem renderer zakomponovaný v jiné aplikaci, nebo lze využít některé z webových služeb a získávat obrázky pro textury prostřednictvím internetu.

Využití existujícího rendereru

Využití existující aplikace má výhodu použití ověřeného řešení. Konkrétními příklady mohou být Mapnik nebo Osmarender [29].

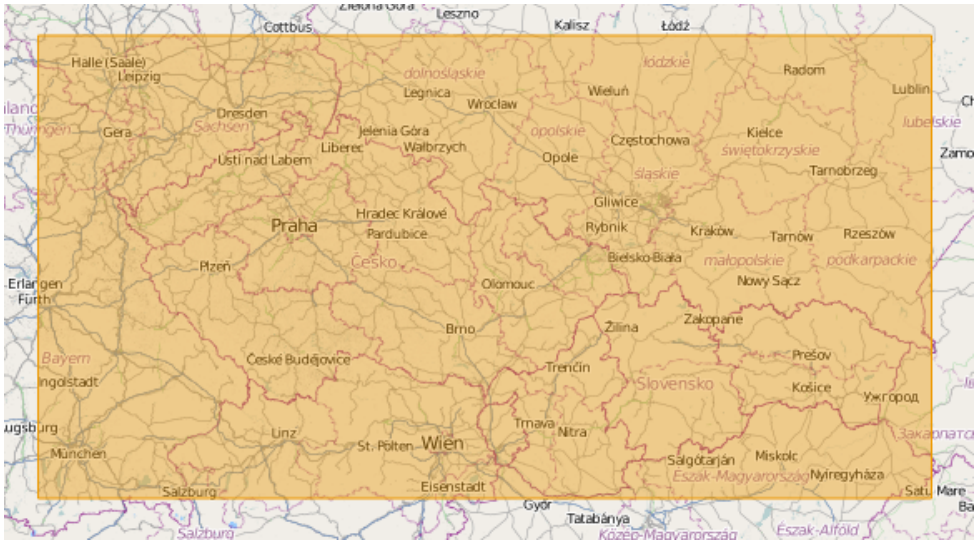
Nevýhodou je pak uživatelská nepřívětivost, kdy by každý uživatel musel řešit správné fungování rendereru a jeho nastavení tak, aby vyhovovalo aplikaci používající rendererem vytvořené textury.

Upravení rendereru z existujícího volně šiřitelného softwaru

Tato cesta se mi zdála zpočátku jako nejefektivnější z pohledu vynaložené práce a získatelného užitku. Bylo nutné nalézt software, u kterého by licence dovolovala volnou úpravu a použití jeho kódu k vlastní potřebě a který by byl naprogramovaný v Javě, jako je celá demonstrační aplikace, kvůli snadné integraci. Vhodným kandidátem se stala aplikace JOSM [41], jejíž účel je umožnit uživatelům modifikovat a vytvářet nová data v OpenStreetMap databázi. Zároveň JOSM obsahuje zakomponovaný renderer.

Řešení využívající lokálního renderování textur se musí v první řadě vypořádat s problémem mapových dat, která musí být při renderování k dispozici. V této souvislosti stojí proti sobě opět problémy velikosti uložených dat a rychlosti jejich načítání.

Prvním pokusem bylo vytvoření databáze z OSM souboru [28], kde je předpoklad relativně rychlého přístupu k datům. Využil jsem databázi H2 [42], pro jejíž volbu hovořila předpokládaná relativně konkurenceschopná rychlost provádění dotazů, živý vývoj a možnost použití databáze jako vestavěného řešení bez nutnosti její obsluhy pomocí serverové aplikace.



Obrázek 16: Testované území. (exportováno z www.openstreetmap.org)

Velikost dat

- Datum pořízení OSM dat: 26. 6. 2011
- Testované území je zobrazeno na obr. 16.
- Velikost OSM souboru: ~ 9 GB
- Velikost dat v databázi: ~ 3,6 GB

Je zřetelně vidět, že vložením dat do databáze bez zbytečných duplicit a s použitím vyhledávacích indexů došlo k redukci velikosti celkového objemu dat na úložném zařízení. Ke zmenšení objemu dat došlo i díky vynechání informací, které pro renderování textur pro letecké účely nejsou potřebné. Jako příklad lze jmenovat údaje o tvůrcích dat a aplikacích, pomocí nichž byla data do databáze OpenStreetMap vložena, nebo lampy pouličního osvětlení. Pro distribuci dat s vizualizační aplikací je to ale stále poměrně mnoho. Zároveň odpovědi na dotazy na získání potřebných dat z databáze se pohybovaly v řádu desítek sekund, někdy dokonce minut, což je pro praktické použití nepřijatelné.

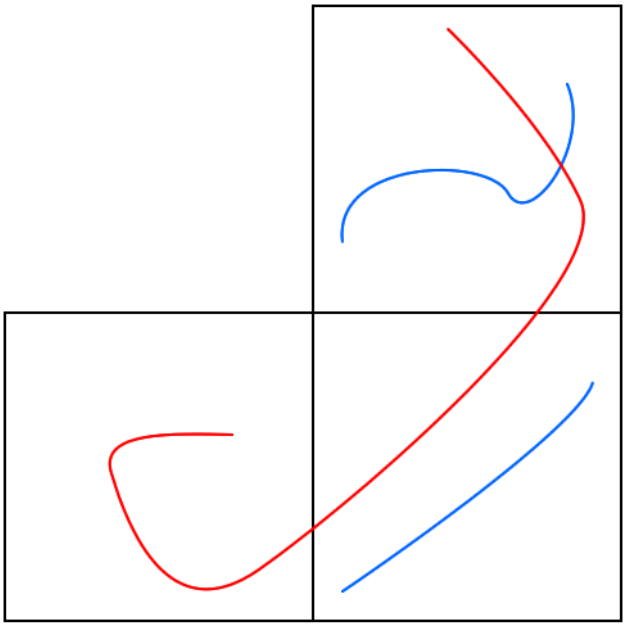
Hledal jsem tedy řešení, které by bylo vhodnější jak z pohledu rychlosti načítání dat, tak z pohledu datového objemu na úložném zařízení. Inspiroval jsem se dobře fungujícím přístupem při optimalizaci uložení výškových dat. OSM data jsou totiž už ze své podstaty vázána k určitému území, které popisují. Lze je tedy obdobným způsobem rozdělit do mnoha datových souborů popisujících zhruba čtvercové oblasti.

Problémy s uspořádáním dat podle čtvercových oblastí

Cesty mohou procházet územím, které je rozděleno do více souborů. Podobně některé relace mohou odkazovat na cesty či uzly spadající do více než jednoho souboru. Řešením je duplikace těchto dat do všech souborů, do kterých dané elementy náleží (viz obr. 17).

Z tohoto důvodu je důležitá optimalizace z pohledu volby velikosti území, které pokrývá jeden soubor. Čím větší území, tím méně bude nutných duplikací, ale poroste potenciální hrozba načítání více zbytečných dat, která již nebudou k výrobě textur zapotřebí. Protože OSM data nejsou statická, ale poměrně rychle se rozrůstají, je potřeba odhadnout i budoucí vyšší hustotu dat a její vliv na množství elementů obsažených ve více souborech najednou a s tímto výhledem velikost území v jednom souboru přizpůsobit.

Prvotní vytváření databáze byl sice z ideového pohledu krok stranou, nakonec to ale nebyla zbytečná práce, protože existující databáze se výborně hodí pro výběr dat na určitém území a jejich zápis ve vhodném formátu do jednotlivých souborů. Tyto soubory jsou binární, data v nich mají speciální uspořádání a na závěr je na data aplikováno Huffmanovo kódování shodně jako u souborů s výškovými daty (viz kap. 5.1.2).



Obrázek 17: Modře značené cesty budou uloženy vždy jen v jednom souboru (soubory jsou ohraničeny čtverci s černým okrajem), červená cesta bude muset být uložena vždy celá ve 3 souborech. Dojde tak ke ztrojnásobení dat pro červenou cestu. [o2]

Nastínění uspořádání OSM dat ve vytvořeném formátu souboru

Na počátku souboru je umístěn **slovník** často se opakujících textových řetězců. Každý řetězec má přiřazenou číselnou hodnotu. V dalších částech souboru jsou tyto řetězce nahrazeny čísly ze slovníku.

Nejprve jsou popsány **klíče** atributů, pak **hodnoty** atributů (viz kap. 3.3.1).

Dále jsou umístěny **uzly**. ID uzlu, zeměpisná šířka, délka a čísla atributů ze slovníku, kterými jsou uzly popsány.

Následují **cesty**. ID cesty, počet uzlů, z nichž se cesta skládá, ID těchto uzlů a atributy popisující cestu.

Na závěr souboru by mohly být umístěny relace, nicméně ty jsem z úsporných důvodů prozatím vynechal.

V případě, že soubory obsahují data z území o straně 0,22 ° zeměpisné délky i šířky, je souhrnná velikost všech těchto souborů asi 290 MB pro testované území (viz obr. 16)

Je zajímavé, že to znamená úsporu oproti uspořádání dat v databázi o více než 90 %. Taková transformace dat se tedy rozhodně vyplatí a data se stávají rozumně distribuovatelná.

Příprava dat do tohoto formátu však není nijak krátká operace, kterou by si mohl dělat uživatel běžně každý den. Při využití disku s 5400 otáčkami za minutu a procesoru o

frekvenci 2 GHz trvá proces úpravy OSM souboru na databázi cca 2,5 hodiny. Další 2 hodiny je třeba pro vytvoření optimalizovaných datových souborů. K tomu je navíc potřeba připočíst dobu extrakce požadované oblasti z jiného OSM nebo PBF souboru, což trvá v závislosti na extrahovaném území a na celkové velikosti původního souboru. Pro území, které je běžně využitelné pro zobrazování letů kluzáků v našich podmínkách, se tato doba může pohybovat okolo 0,5 hodiny. Jak je vidět, jedná se o vcelku náročný proces, který se ale nemusí opakovat příliš často. Závisí jen na pocitu uživatele, zda jsou textury zobrazované na terénu dostatečně aktuální.

Jakmile je vyřešena otázka dat, je možné přistoupit k získání a upravení samotného rendereru. Tato operace se ukázala být v případě aplikace JOSM velmi náročná. Renderer je totiž s aplikací velmi výrazně provázán a porozumění jeho fungování není s chybějící dokumentací snadné. Bohužel se mi nepodařilo dovést celou operaci z časových důvodů do úspěšného konce. Raději jsem svoji pozornost zaměřil na jiná řešení. Dosavadní práce s uspořádáním dat pro textury tedy bohužel prozatím zůstane nevyužita. Vše je ale předpřipraveno a v budoucnu se jistě uplatní.

5.2.2 Využití webové služby

Dají se nalézt webové služby, které poskytují mapové dílky podobně jako www.openstreetmap.org. Pojmem mapový dílek rozumím čtvercový rastrový obrázek zobrazující část mapy. Sousední dílky na sebe přesně navazují a lze z nich poskládat jednolitou větší mapu. Dílky mohou být použity pro libovolný vlastní účel. Častým použitím je právě zobrazení mapy v k tomu určených aplikacích. Mám teď samozřejmě na mysli služby poskytující mapové dílky vytvořené z dat OpenStreetMap. Tento druh služby supluje pro aplikaci do značné míry lokální renderer.

Využil jsem dvou služeb dostupných na webu www.cloudmade.com. První službou je poskytování mapových dílků. Druhá služba je webový editor stylů mapy, díky kterému je možné jednoduchým způsobem vybrat, co se na mapě bude či nebude zobrazovat a jak jednotlivé elementy budou vypadat.

5.2.3 Tvorba textur ze stažených mapových dílků

Základními stavebními prvky terénu jsou díky použitému LOD algoritmu GeoMipMap [19] bloky terénu skládající se z pravidelné sítě bodů odpovídající použité výškové mapě. Tyto bloky mají velikost N×N bodů. Z algoritmického pohledu se sice jedná o čtvercovou oblast, ale díky zakřivení povrchu Země a použité projekci výškové mapy a mapových dílků není správné umístění textur úplně přímočaré.

Terén v JME3 je navíc uzpůsoben pro snadné umístění jedné textury na celý jeho povrch. Při možné délce strany terénu i stovky kilometrů, by musela textura pokrývající celý terén mít obrovské rozlišení pro dosažení rozumné kvality, což by nemuselo být v silách grafických karet ani za několik let. Z tohoto důvodu jsem se rozhodl umístit textury na

jednotlivé bloky terénu, jejichž velikost se dá nastavit podle potřeb. Při nastavení vhodné velikosti bloků je tak možné vytvořit dostatečně kvalitní textury pokrývající celé území, které každý z bloků pokrývá. Souřadnice pro textury jsou na jednotlivých blocích terénu tomuto přizpůsobené.

Postup tvorby textur je následující:

- Stažení všech potřebných mapových dílků.
- Pro každý blok terénu se určí, které dílky pokrývají aspoň část území bloku.
- Pro všechny tyto dílky se spočítají souřadnice jejich severní, jižní, západní a východní strany.
- Dílky se na základě spočtených souřadnic umístí na blok terénu a přesahy dílků mimo blok se oříznou.

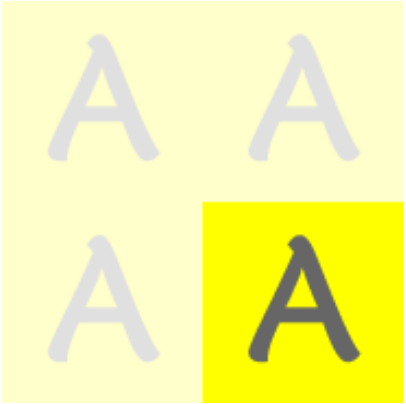
Mapové dílky jsou poskytovány v různých úrovních přiblížení. Čím je terén více přiblížený, tím pokrývá jeden dílek menší území. Úroveň přiblížení je tedy nutné zvolit s ohledem na odhadovaný počet mapových dílků, které se vměstnají na území jednoho bloku.

Správnou úroveň přiblížení je potřeba zvolit ještě z jednoho důvodu. Velikost textových popisků na mapových dílcích poskytovaných službou Cloudmade nelze pomocí editoru stylů prozatím měnit. Zvolí-li se tedy vysoký stupeň přiblížení mapy, dosáhne se tím většího rozlišení výsledné textury a tím i vyšší vizuální kvality, ale textové popisky budou čitelné jen při pohledu na terén z velmi malé vzdálenosti, což jde přesně proti myšlence, že by měly textury umožnit snadnou orientaci v terénu. Musí se tedy zvolit nepříjemný, ale z tohoto pohledu nutný kompromis mezi kvalitou a informační hodnotou, jíž textury přinášejí.

Koncepce terénu v JME3 přináší ještě jednu komplikaci. Texturové souřadnice pro jednotlivé bloky jsou vytvořeny tak, aby se na nich zobrazovala patřičná část textury zobrazené na terén jako celek.

Obrázek 18: Vlevo je požadovaný vzhled textur na terénu, vpravo takový, jaký bez dodatečných úprav vznikne. [o2]

Přiřadí-li se tedy každému bloku jeho vlastní textura, bude se v oblasti bloku zobrazovat jen část této textury. Taková část, která by bloku příslušela při namapování textury na oblast celého terénu (viz obr. 18 vpravo). Tuto vlastnost lze obejít bez zásahu do zdrojového kódu JME. Nejprve je nutné nastavit menší měřítko textury, a následně nastavit opakování textury ve směru os x i y. (viz obr. 19) Tím se zabezpečí, že jedno z opakování textury padne přesně do oblasti bloku, kde má být textura vykreslena.



Obrázek 19: Textura, které se má zobrazit na bloku vpravo dole, se ve skutečnosti vykresluje od levého horního bodu terénu. Opakování textury a její velikost synchronizovaná s velikostí bloků umožní její správné vykreslení na požadovaném bloku. [o2]

Na takto otexturovaném terénu se ale objevují linie ve směru sever-jih a východ-západ, které se vyskytují na hranicích bloků terénu. Z vývojářského fóra k JME jsem zjistil, že jsou tyto linie způsobeny vyhlazováním textur, aby na sebe jemněji navazovaly. Vinu na tom nese zvolené řešení, kdy se textury opakují. Ve skutečnosti tak spolu sousedí vždy jedna a ta samá textura, jejíž levá a pravá, případně horní a dolní hrana na sebe pochopitelně nijak nenavazují. Akutním řešením tohoto problému by mohlo být vypnutí vyhlazování, což by však mělo za následek snížení celkové rychlosti vykreslování. Dlouhodobé řešení vidím v budoucím nastavení patřičných souřadnic pro textury každému bloku terénu zvlášť, čímž by na sebe textury sousedních bloků měly přesně navazovat.

Zhodnocení využití webových služeb

Zvolené řešení má jednoznačnou výhodu v rychlejším vývoji aplikace, kdy se vývojář nemusí zabývat tím, jak jsou textury renderovány. Na druhou stranu si nemůže tolik vybírat, jak by měly generované mapové dílky vypadat, jakou by měli mít velikost a jaké by měly pokrývat území. Jedná se však o řešitelné problémy. Další podstatnou výhodou je odstranění složitostí s distribucí a kompatibilitou jednotlivých kolekcí OpenStreetMap dat, které by mezi uživateli kolovaly. Stejně tak zobrazovaná data nebudou zastarávat a uživatel se nemusí starat o jejich obnovu.

Nevýhodou je nutnost připojení k internetu, bez nějž není možné mapové dílky stáhnout. To by se v dnešní době mohlo zdát jako téměř vyřešený problém, zvláště když se jedná o aplikaci určenou pro osobní počítače. Praktické zkušenosti ale napovídají, že byť se

situace rok od roku zlepšuje, například na plachtařských soutěžích, bývá situace s rychlostí a spolehlivostí internetového připojení mnohdy tristní. A plachtařské soutěže jsou zrovna akce, na kterých je poletová analýza rituálem téměř každého pilota.

I pokud je připojení k internetu kvalitní, stojí generování mapových dílků serverem a jejich následné poslání uživateli nějaký čas. V případě zobrazení velkého území pak může vzrůst tato doba do řádu minut a to již může být pro uživatele nad míru únosnosti.

5.3 Záznam letu

Stěžejní funkcí demonstrační aplikace je vizualizace záznamu letu. Nyní není třeba zkoumat, jakou technikou byla data zaznamenána. Data jsou k dispozici a cílem je vyřešit, jak takový záznam srozumitelně zobrazit. V plachtařské praxi se pracuje téměř výhradně s daty zapsanými ve formátu souboru IGC. Je to formát definovaný v dokumentech, jak už název napovídá, již jednou zmiňované mezinárodní plachtařské komise. Proto jsem tento formát souboru zvolil jako základní a demonstrační aplikace dokáže získat potřebná data právě z tohoto formátu souboru. Přesnou definici formátu lze nalézt na [43]

Ve zkratce lze zmínit základní charakteristiku formátu. Data jsou zaznamenána v textové podobě, rozdělena na jednotlivé řádky. Význam každého řádku je dán vždy prvním znakem na řádku. Řádky mohou obsahovat data o typu kluzáku, jméno pilota a další informace, které lze souhrnně označit jako hlavička. Dále se jedná o polohová a výšková data a další většinou méně podstatné informace, které může do souboru ukládat každý výrobce GNSS zařízení jiné.

Existuje vyhrazený znak i pro deklaraci trati letu před započetím samotného letu. Jde o rozumnou cestu, jak standardním způsobem trať popsat, stejně jako ostatní data. Nicméně někteří výrobci GNSS zařízení se rozhodli, že pro deklaraci letu využijí řádky se symbolem pro individuálně volitelné řádky, jejichž podoba není nijak definovaná, a tudíž formát deklarace trati zdaleka není jednotný, což použití aplikace počítající se standardy značně komplikuje. Z důvodu nyní popsaného a kvůli skutečnosti, že existuje mnoho certifikovaných GNSS zařízení pro záznam dat ve formátu IGC, u nichž si téměř každý výrobce volí vlastní cestu, jsem se rozhodl, že se zobrazování deklarované trati pro účely demonstrační aplikace věnovat dále nebudu.

Nejdůležitější částí IGC souboru jsou tedy data popisující průběh letu. Řádky s nimi jsou chronologicky uspořádány tak, jak byla data zaznamenána. Na řádku je uveden čas záznamu, zeměpisné souřadnice, GPS nadmořská výška a tlaková nadmořská výška (výška zaznamenaná snímačem tlaku). Záznam letu je tedy sekvence těchto bodů.

Zaujalo mne, že čas záznamu bodu bývá v IGC souboru zaznamenán s přesností na jednotky sekund. Tento časový interval se mi při uvážení rychlostí, jakými se kluzáky (ale i jiné letouny) pohybují, jeví jako relativně dlouhý. Stejně jako je díky tomuto systému zaznamenávání letu umožněna například na soutěžích poletová kontrola, kudy kluzák letěl a zda se vyhnul všem zakázaným prostorům, může pilot za použití mobilních zařízení a

speciálního softwaru kontrolovat svoji pozici přímo za letu. To často vede k záměrnému přibližování pilotů k hranicím těchto prostorů, pokud z toho pro ně plynou výhody. Stane se ale, že pilot do zakázaného prostoru takto nechtěně zavítá, ale v záznamu letu se nenachází uvnitř zakázaného prostoru z důvodu delšího intervalu mezi fixy ani jeden z nich.

Podle pravidel soutěží bývá často maximální interval záznamu 10 sekund. Je to kvůli relativně malé paměti u dnes používaných zařízení staršího data výroby. Pravidla se ale upravují na základě schopností využívané techniky a ta by měla být podle mého názoru o nějaký ten krok napřed.

5.3.1 Reprezentace záznamu letu v aplikaci

Jsou pravděpodobně dva vhodné způsoby vizuální reprezentace záznamu letu. Ten zřejmější je vykreslení trajektorie z posloupnosti zaznamenaných bodů. Druhým způsobem je reprezentace letu pomocí grafu nebo více grafů. Obě možnosti mají své výhody a nevýhody. Především každá z nich lépe poskytuje jiný druh informací, a tak se mohou vhodně doplňovat.

Je důležité si uvědomit, že vizualizační a analytickou část aplikace od sebe nelze nijak radikálně oddělit, poněvadž i vizuální dojem ze zobrazované scény je důležitým prvkem analýzy letu. Proto se některé části popsané v této kapitole budou dotýkat i části analýzy letu, která bude popsána později.

Trajektorie letu

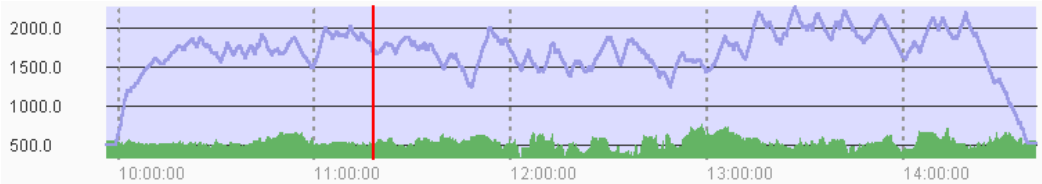
Nejpřímočařejší způsob vykreslení trajektorie je pomocí zobrazení jednotlivých bodů. Tento způsob je ale poněkud nepřehledný. Body mohou být od sebe časově poměrně daleko a v případě létání delší dobu nad jedním místem je výsledkem shluk bodů, u nichž nelze rozpoznat pořadí jejich zaznamenání.

Vhodnější a také zvolený způsob pro demonstrační aplikaci je lomená čára spojující jednotlivé body vždy s jejich sousedy. Řešil jsem také otázku zobrazení trajektorie pomocí různých typů křivek. Výsledná trajektorie by vypadala přirozeněji a pro náhodného pozorovatele by se jevila jako vhodnější volba. Z pohledu uživatele, jehož záměrem není kochání se nad krásou ladnosti trajektorie, ale chce zjistit, kudy přesně kluzák letěl, je kvůli přesnější interpretaci pozice vhodnější právě lomená čára.

Další informační hodnotu lze trajektorii přidat jejím vhodným obarvením. V demonstrační aplikaci jsem zvolil modrou barvu pro označení klouzavých částí letu a červenou barvu pro označení kroužení. V prakticky používané aplikaci lze pak pomocí barev znázorňovat například aktuální nadmořskou výšku, výšku nad terénem, rychlost či mnoho jiných informací.

Grafy

Pomocí 2D grafu lze do jisté míry také znázornit průběh letu. Nejvhodnější je zobrazení času na ose x a vybraných jiných hodnot na ose y. Prakticky jde o stejné hodnoty, jejichž zobrazení jsem popisoval při možnostech obarvování trajektorie. V podání grafu jsou však tyto hodnoty mnohem lépe a názorněji rozpoznatelné. Demonstrační aplikace zobrazuje graf nadmořské výšky letu a nadmořské výšky terénu pod kluzákem v závislosti na čase (viz následující obrázek).



Obrázek 20: Graf z demonstrační aplikace znázorňující nadmořskou výšku letu (modrá křivka), výšku terénu v místě letu kluzáku (zelená plocha) a aktuální pozici v záznamu letu (červená svislá čára) [o1]

5.3.2 Vizualizace průběhu letu

Představme si, že máme k dispozici scénu zobrazující terén, trajektorii letu nad terénem a graf zobrazující důležité letové parametry v průběhu letu. To vše je nezbytné k tomu, aby se dal záznam letu celkově prohlédnout. Dojem ze zobrazeného záznamu je však lepší, pokud jsou k dispozici i analyzované údaje ve formě textu, které si uživatel může přímo přečíst. Máme tu sice graf, ale ten by měl sloužit jen jako pomůcka pro orientační zjištění některých hodnot. Navíc pro zjištění letových údajů v konkrétním čase není snadné zobrazit větší množství grafů najednou. Jako řešení tohoto problému se nabízí možnost přehrání záznamu podobně jako filmu na videorekordéru. Na aktuální pozici záznamu je dobré do scény umístit ukazatel pozice. Pro lepší pocit uživatele je možné pracovat s modelem kluzáku. Demonstrační aplikace obsahuje řešení v podobě nestínované jednobarevné kuličky. Ukazatelem pozice je pak možné po záznamu pohybovat a k jeho aktuální pozici vždy zobrazovat relevantní letové údaje. Takové řešení je vhodné i pro budoucí rozšíření aplikace pro zobrazení více záznamů v jedné scéně, kdy lze sledovat výkony více pilotů ve stejný okamžik a porovnávat tak jejich letové údaje. Demonstrační aplikace tedy umožňuje přehrání záznamu letu, změnu rychlosti přehrávání v násobcích původní rychlosti (1×, 5×, 10×…), pozastavení přehrávání a uvedení záznamu do výchozího stavu s možností opětovného přehrání.

5.4 Analýza letových dat

U záznamu letu nelze za běžných okolností předpokládat žádný přesně daný interval mezi fixy. Proto je vhodné záznam pro další použití v tomto ohledu standardizovat a zajistit interval zaznamenávání fixů konstantní a pro účely aplikace předem známý. To není dost dobře možné zařídit na úrovni jednotlivých výrobců GNSS zařízení. Proto je potřeba jakýkoli záznam umět do této podoby převést.

Jediným dostupným řešením je interpolace zaznamenaných údajů. Z důvodu minimálního intervalu zaznamenávání fixů soudobých GNSS zařízení, který je 1 sekunda, je vhodné interpolovat hodnoty záznamu právě po 1 sekundě. Na základě takového vzorkování je pak také možné přesně synchronizovat přehrávání více záznamů současně. Ať se provede interpolace jakýmkoli způsobem, nikdy nelze zajistit její naprostou přesnost a věrohodnost. Proto se podle mého názoru nemá smysl zabývat jinou než prostou lineární interpolací. Lineární interpolace tak byla zvolena i pro demonstrační aplikaci. Trajektorie letu se vykresluje podle již interpolovaných fixů.

5.4.1 Řešení vybraných výpočtů

Vybral jsem některé výpočty, jejichž řešení není jen lineární interpolace hodnot vypočítaných pro původně zaznamenané fixy.

Výška

Výjimkou je jen výška letu. Pro všechny výpočty, ve kterých je potřeba počítat s nadmořskou výškou, jsem se rozhodl preferovat výšku tlakovou před GPS výškou. Je to z toho důvodu, že se v záznamech občas vyskytnou mezery v příjmu GPS signálu, ale tlaková výška je zaznamenávána kontinuálně.

Výška nad terénem

Aktuální výška nad terénem je pro plachtaře velmi důležitý parametr letu. Tuto hodnotu lze získat z naměřené nadmořské výšky a z výšky terénu na aktuální pozici kluzáku. JME3 má implementovanou funkci, pomocí níž lze interpolovanou výšku terénu získat v kterémkoli bodě terénu. Z toho je patrné, že vzhledem k určité nepřesnosti modelu terénu a vzhledem k těmto interpolacím lze využít údaj výšky nad terénem jen jako orientační.

Stoupání

Stoupání (klesání) kluzáku lze spočítat jako změnu výšky za čas (běžně jedna sekunda). Běžné hodnoty stoupání se během letu pohybují v rozmezí přibližně ±5 m/s. Výška je zaznamenávána v celých číslech. Při uvážení záznamu, který má fixy po 1 sekundě, dojde k tomu, že by tato hodnota mohla vytvořit například následující sekvenci uvedenou v tabulce 7 (všechny hodnoty stoupání jsou uvedeny v m/s).

Čas	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Zaznamenané stoupání	**0**	**0**	**0**	**-1**	**-1**	**-2**	**-1**	**0**	**0**
Součet změn	**0**	**0**	**0**	**-1**	**-2**	**-4**	**-5**	**-5**	**-5**
Skutečné stoupání	**-0,2**	**-0,1**	**0,2**	**-0,8**	**-1,3**	**-1,6**	**-0,8**	**-0,2**	**-0,1**
Součet změn	**-0,2**	**-0,3**	**-0,1**	**-0,9**	**-2,2**	**-3,8**	**-4,6**	**-4,8**	**-4,9**

Tabulka 7: Ilustrační příklad zaznamenaných a skutečných hodnot stoupání kluzáku.

Zvolená sekvence může odpovídat běžnému letu. Jak je vidět, hodnoty jsou poněkud deformované, ale celkově lze říct, že nejde o zásadní rozdíl.

Může ale nastat situace ukázaná v tabulce 8, kdy se plachtař za nepříznivých meteorologických podmínek snaží udržet kluzák ve vzduchu ve velmi slabém stoupavém proudu a chce po letu tuto fázi analyzovat. Z následující tabulky vyplývá, že zaznamenané stoupání v této situaci nemusí být příliš reprezentativní.

Čas	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Zaznamenané stoupání	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**1**	**0**	**0**	**0**
Součet změn	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**1**	**1**	**1**	**1**
Skutečné stoupání	**0,2**	**0,1**	**0,1**	**0**	**0**	**0,3**	**0,1**	**0,3**	**-0,1**
Součet změn	**0,2**	**0,3**	**0,4**	**0,4**	**0,4**	**0,7**	**0,8**	**1,1**	**1**

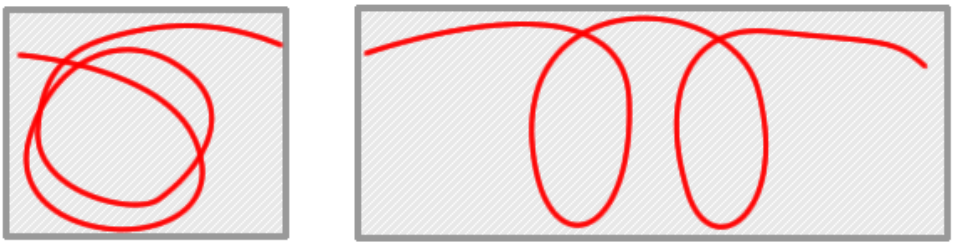
Tabulka 8: Ilustrační příklad zaznamenaných a skutečných hodnot stoupání kluzáku.

Proto jsem se rozhodl hodnotu stoupání pro každý fix zprůměrovat z několika okolních hodnot. Konkrétně 5 sekund před i po aktuálním fixu. Jde o kompromis, který zaručí reprezentativnější zobrazované údaje, ale samozřejmě situaci poněkud zkreslí a náhlé změny stoupání nebudou tak náhlé jako ve skutečnosti.

Detekce kroužení

Volba algoritmu pro detekci kroužení není snadná. Jde o poměrně komplikovanou problematiku, u níž snad něco jako správné řešení neexistuje. Každý může vnímat model kroužení jinak.

Bylo by snadné říct, že jde například o létání na omezeném území se ziskem výšky. V praxi ale do situace často promlouvá vítr, který může výrazně zvětšovat území kroužení, jak je vidět na obrázku 21. Někdy také může být pro pilota výhodné vyčkat v místě, kde při kroužení ztrácí výšku pomaleji, než za běžného letu, s nadějí, že v blízkém okolí dostatečně brzy najde stoupavý proud, ve kterém vykrouží výše. Podle mého názoru tedy není možné pro detekci použít parametr, že kluzák stoupá.

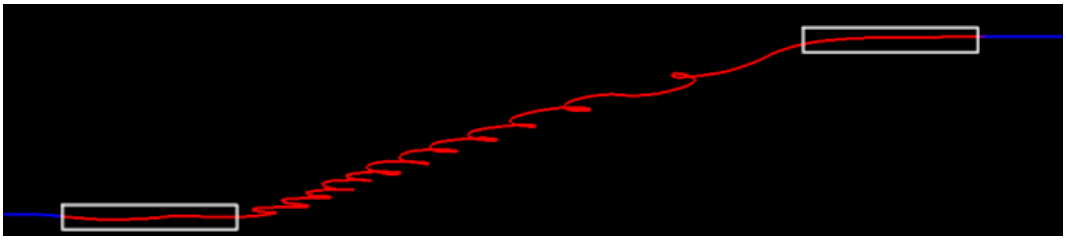


Obrázek 21: Pohled na trajektorii shora. V levé části obrázku je klasický tvar trajektorie při kroužení v bezvětří, v pravé části je silně ovlivněn větrem. Z obklopujících obdélníků je patrný rozdíl velikostí území, nad kterými kluzák kroužil. [o2]

Z dostupných dat lze zjistit přibližný kurz kluzáku v každém bodě záznamu. Toho lze využít při spočítání změny kurzu za určitý čas. Pokud kluzák krouží, mění kurz letu velmi rychle oproti ostatním fázím letu. Z toho vyplývá, že když mění kluzák kurz dostatečně

rychle aspoň stanovenou dobu, lze tuto fázi letu detekovat jako kroužení. I tento přístup má své problémy.

Trajektorie letu může vypadat při pohledu shora jako vlnovka. Při dostatečně rychlých změnách směru po stanovenou dobu by byla tato fáze detekována jako kroužení. Takové trajektorie se ale v záznamech neobjevují. Muselo by se jednat o neobvyklý záměr pilota otestovat tento konkrétní algoritmus. Obrázek 22 ukazuje, že větším problémem jsou fáze příletu do kroužení a odletu z kroužení, které jsou poněkud delší, než by bylo vhodné a zkreslují tak statistické údaje spočítané pro fázi kroužení. S tím se lze vypořádat dodatečnou analýzou detekovaného kroužení, kdy jsou tyto přesahy z kroužení odstraněny.



Obrázek 22: Bílými obdélníky jsou ohraničeny části letu demonstrační aplikací detekované jako kroužení, které by bylo vhodné prohlásit za klouzavý let. [o1]

Směr větru, výpočet IAS a TAS

Směr větru a tudíž i IAS a TAS jsem se rozhodl v demonstrační aplikaci nepočítat. Při pohledu na záznam shora si každý uživatel může udělat vlastní úsudek o tom, kterým směrem a jakou silou foukal vítr podle sklonu kroužení. Odhad to sice může být nepřesný, ale vypočítané hodnoty by pravděpodobně přesnější nebyly. Blíže vysvětleno v části *Problémy při zjišťování IAS a TAS*, kap. 4.2.

Jak je vidět z předchozího textu, u mnoha hodnot nelze jednoznačně určit, zda jsou počítány správným způsobem. Každý člověk na daný problém může mít jiný názor a nejlepším postupem by bylo zapojit celou komunitu, aby vznikla řešení akceptovaná její většinou. V každém případě je vhodné, aby v dokumentaci takovýchto aplikací byly aspoň některé algoritmy výpočtů zveřejněny, aby si ze zobrazovaných hodnot mohl udělat každý svůj kvalifikovaný závěr.

6 Závěr

Výsledkem práce je funkční implementace demonstrační aplikace, která dokáže zobrazit záznam letu kluzáku nad realistickým, stínovaným terénem, pro jehož tvar byla zvolena data z digitálního výškového modelu SRTM. Jako textura pro terén byla zvolena mapa. Mapové dílky pro textury jsou stahovány prostřednictvím internetu a z nich jsou utvářeny finální textury použité na terénu. Kromě terénu je ve scéně zobrazována trajektorie letu kluzáku. Ta je načtena z libovolného IGC souboru. Let je možné přehrávat jako videozáznam, při kterém se po zobrazené trajektorii pohybuje model (značka znázorňující pozici kluzáku). Jako doplňující informace je k letu zobrazován graf. Na grafu je znázorněna nadmořská výška kluzáku během letu a nadmořská výška terénu pod kluzákem. Během přehrávání letu se zobrazují aktuální letové údaje, jako jsou výška letu, rychlost letu a jiné. Je také možné zobrazit v textové formě výpis vybraných statistik celého letu.

Pokus o implementaci rendereru mapových dílků na základě rendereru z aplikace JOSM se ukázal jako velmi složitý a v daném časovém prostoru nerealizovatelný. Vznikl ale zajímavý postup pro datově poměrně nenáročné uložení OSM dat, který by mohl být pro aplikace tohoto typu rozumně použitelný a který v budoucím vývoji uplatnění nalezne.

Demonstrační aplikace může být vhodně rozšířena o další funkcionalitu v podobě zobrazení více záznamů letu současně. V budoucnu se vyplatí experimentovat s různými způsby zobrazení letových dat v textové podobě i v grafu a s různými algoritmy detekce a analýzy jednotlivých fází letu. Nejdůležitější vlastností aplikace by totiž mělo být podávání věrohodných a přesných informací. Je také možné implementovat podporu pro zobrazení terénu na základě jiných datových modelů než jen SRTM, stejně jako přidání schopnosti číst i jiné soubory záznamu letu než IGC. Také by bylo vhodné umožnit různé styly obarvení trajektorie letu pro zpřehlednění scény a přidání další informační hodnoty.

Mým cílem je propracování aplikace do podoby, kdy bude užitečná plachtařské komunitě a bude nabízet hodnotnou alternativu k ostatnímu softwaru podobného zaměření.

Zdroje informací

[1] ORŠULÁK, Tomáš a Jan PACINA. *3D modelování a virtuální realita*. První vydání. Ústí nad Labem: Centrum digitálních služeb MINO, 2010. Dostupné z: http://gis.fzp.ujep.cz/DTM/3d.pdf.

[2] DIGITAL AERIAL TRIANGULATION. *Integrated Mapping Technologies Inc.* [online]. [cit. 2011-12-31]. Dostupné z: http://www.imtcan.com/services/triangulation.htm.

[3] KUNCOVÁ, Lucie a Petra JANEČKOVÁ. *Letecké skenování biomasy (laserové)* [online]. [cit. 2011-12-31]. Dostupné z: http://gis.fzp.ujep.cz/files/0615_LaseroveSkenovaniBiomasy.pdf. Seminární práce z předmětu DPZ. Univerzita Jana Evangelisty Purkyně.

[4] LIDAR LASEROVÉ SKENOVÁNÍ A VÝŠKOVÁ DATA. *BLOM Imaging The World* [online]. [cit. 2011-12-31]. Dostupné z: http://blomasa.com/blom-czech-republic-ll/produkty-a-sluby-ll/lidar-laserove-skenovani-a-vyskova-dat.html.

[5] Global 30 Arc-Second Elevation (GTOPO30). USGS. *Earth Resources Observation and Science (EROS) Center* [online]. 3, Srpen, 2011 v 23:55:07 [cit. 2011-12-31]. Dostupné z: http://eros.usgs.gov/#/Find_Data/Products_and_Data_Available/gtopo30_info.

[6] GTOPO30 Source Data. USGS. *Earth Resources Observation and Science (EROS) Center* [online]. [cit. 2011-12-31]. Dostupné z: http://eros.usgs.gov/ecms/images/common/gtopo30/gt30src.gif.

[7] Mission. NASA. *Shuttle Radar Topography Mission*: *The Mission to Map the World* [online]. [cit. 2011-12-31]. Dostupné z: http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/mission.html.

[8] Data Products. NASA. *Shuttle Radar Topography Mission*: *The Mission to Map the World* [online]. [cit. 2011-12-31]. Dostupné z: http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/datacoverage.html.

[9] Home. CONSORCIUM FOR SPATIAL INFORMATION. *Consultative Group for International Agriculture Research* [online]. [cit. 2011-12-31]. Dostupné z: http://www.cgiar-csi.org.

[10] SRTM Data Processing Methodology. *The CGIAR Consortium for Spatial Information (CGIAR-CSI)* [online]. [cit. 2011-12-31]. Dostupné z: http://srtm.csi.cgiar.org/SRTMdataProcessingMethodology.asp.

[11] Index. *Aster Global Digital Elevation Model* [online]. [cit. 2011-12-31]. Dostupné z: http://www.ersdac.or.jp/GDEM/E/index.html.

[12] Features. *Aster Global Digital Elevation Model* [online]. [cit. 2011-12-31]. Dostupné z: http://www.ersdac.or.jp/GDEM/E/2.html.

[13] Global Multi-resolution Terrain Elevation Data 2010 (GMTED2010). USGS. *Earth Resources Observation and Science (EROS) Center* [online]. 20, Prosinec, 2011 v 08:50:59 [cit. 2011-12-31]. Dostupné z: http://eros.usgs.gov/#/Find_Data/Products_and_Data_Available/GMTED2010.

[14] NATIONAL IMAGERY AND MAPPING AGENCY. Technical report. *Department of Defense World Geodetic System 1984*: *Its Definition and Relationships with Local Geodetic Systems*. Third Edition. USA, 2000. Dostupné z: http://earth-info.nga.mil/GandG/publications/tr8350.2/wgs84fin.pdf.

[15] FENG, Zhenhua a Hua QI. A HYBRID LOD ALGORITHM BASED ON TIN MODELLING. In: *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Beijing, 2008, s. 953-956. Vol. XXXVII. Part B2.

[16] LUEBKE, David et al. *Level of detail for 3D graphics*. USA: Morgan Kaufmann Publishers, 2003. ISBN 1-55860-838-9. s. 185-228.

[17] ASIRVATHAM, Arul a Hugues HOPPE. Terrain Rendering Using GPU-Based Geometry Clipmaps. PHARR, Matt a Randima FERNANDO. *GPU gems 2*. Addison-Wesley, 2005, s. 27-45. ISBN 0321335597.

[18] *Evaluation of Real-Time Continuous Terrain Level of Detail Algorithms*. 2003. Dostupné z: http://zurich.disneyresearch.com/derekbradley/Papers/carleton03_TerrainLOD.pdf. Carleton University. Vedoucí práce Professor M. Lanthier.

[19] DE BOER, Willem H. Fast Terrain Rendering Using Geometrical MipMapping. 2000[cit. 2011-12-31]. Dostupné z: http://www.flipcode.com/archives/article_geomipmaps.pdf.

[20] STRUGAR, Filip. *Continuous Distance-Dependent Level of Detail for Rendering Heightmaps (CDLOD)*. 2010. Dostupné z: http://www.vertexasylum.com/downloads/cdlod/cdlod_latest.pdf.

[21] Domovská stránka. *Google Earth* [online]. 2011 [cit. 2011-12-31]. Dostupné z: http://www.google.com/intl/cs/earth/index.html.

[22] Main Page. *OpenStreetMap Wiki* [online]. 28 December 2011, at 17:02 [cit. 2011-12-31]. Dostupné z: http://wiki.openstreetmap.org/wiki/Main_Page.

[23] *OpenStreetMap*: *Using and Enhancing the Free Map of the World*. Cambridge: UIT Cambridge, 2010. ISBN 978-3-86541-375-8.

[24] CS:Map Making Overview. *OpenStreetMap Wiki* [online]. 7 August 2011, at 18:25. [cit. 2011-12-31]. Dostupné z: http://wiki.openstreetmap.org/wiki/CS:Map_Making_Overview.

[25] PBF Format. *OpenStreetMap Wiki* [online]. 2 December 2011, at 15:37 [cit. 2011-12-31]. Dostupné z: http://wiki.openstreetmap.org/wiki/PBF_Format.

[26] Osmosis. *OpenStreetMap Wiki* [online]. 19 December 2011, at 23:53 [cit. 2011-12-31]. Dostupné z: http://wiki.openstreetmap.org/wiki/Osmosis.

[27] Map Features. *OpenStreetMap Wiki* [online]. 26 December 2011, at 07:06 [cit. 2011-12-31]. Dostupné z: http://wiki.openstreetmap.org/wiki/Map_Features.

[28] OSM XML. *OpenStreetMap Wiki* [online]. 23 December 2011, at 16:09 [cit. 2011-12-31]. Dostupné z: http://wiki.openstreetmap.org/wiki/.osm.

[29] Rendering. *OpenStreetMap Wiki* [online]. 3 December 2011, at 08:38 [cit. 2011-12-31]. Dostupné z: http://wiki.openstreetmap.org/wiki/Renderers.

[30] About. *Cloudmade* [online]. [cit. 2012-01-01]. Dostupné z: www.cloudmade.com.

[31] HOFMANN-WELLENHOF, B. *GNSS--global navigation satellite systems*: *GPS, GLONASS, Galileo, and more*. Wien: Springer, c2008, 516 s. ISBN 978-321-1730-126.

[32] Analytical methodologies. *Topoiberia* [online]. [cit. 2012-01-01]. Dostupné z: http://www.igme.es/internet/topoiberia/methodologies.html.

[33] KARSKÝ, G. Čínský regionální satelitní navigační systém - CAPS. KARSKÝ, G. *VÝZKUMNÝ ÚSTAV GEODETICKÝ, TOPOGRAFICKÝ A KARTOGRAFICKÝ, v. v. i* [online]. [cit. 2012-01-07]. Dostupné z: http://www.vugtk.cz/nzk/c4-10/li.htm.

[34] THE INTERNATIONAL AIR SPORTS FEDERATION. *IGC-approved recorders* [online]. 2010, 31 August 2010 [cit. 2012-01-01]. Dostupné z: http://www.fai.org/component/phocadownload/category/854-approved_flight_recorders?download=3144:list-of-igc-approved-frs.

[35] Lety: Let id 40468. *CPS online* [online]. 4. 12. 2011 [cit. 2012-01-01]. Dostupné z: http://cpska.cz/public/index3.php?lpg=zobraz_let.

[36] *Učebnice pilota*. První vydání. Cheb: Svět křídel, 2003. ISBN 80-85280-89-2. s. 19-20.

[37] Introduction. *JMonkeyEngine* [online]. [cit. 2012-01-07]. Dostupné z: http://jmonkeyengine.org/introduction/.

[38] HUNT, John. *Java and object orientation*: *an introduction*. 2nd edition. Springer, 2002. ISBN 1-85233-569-6. Dostupné z: s. 125.

[39] CRAIG, I. *Virtual Machines*. USA: Springer, 2005. ISBN 1-85233-969-1. s. 27-32.

[40] SAYOOD, Khalid. *Introduction to data compression*. Second Edition. USA: Academic Press, 2000. ISBN 1-55860-558-4. s. 39-60.

[41] Java OpenStreetMap Editor. *JOSM* [online]. [cit. 2012-01-01]. Dostupné z: http://josm.openstreetmap.de/wiki/Cs:WikiStart.

[42] Home. *H2 Database Engine* [online]. [cit. 2012-01-01]. Dostupné z: http://www.h2database.com/html/main.html.

[43] INTERNATIONAL GLIDING COMMISSION. FÉDÉRATION AÉRONAUTIQUE INTERNATIONALE. [online]. 2010 [cit. 2012-01-01]. Second Edition. Dostupné z: http://www.fai.org/component/phocadownload/category/855-technical_specifications?download=3165:technical-specification-for-igc-approved-gnss-flight-recorders.

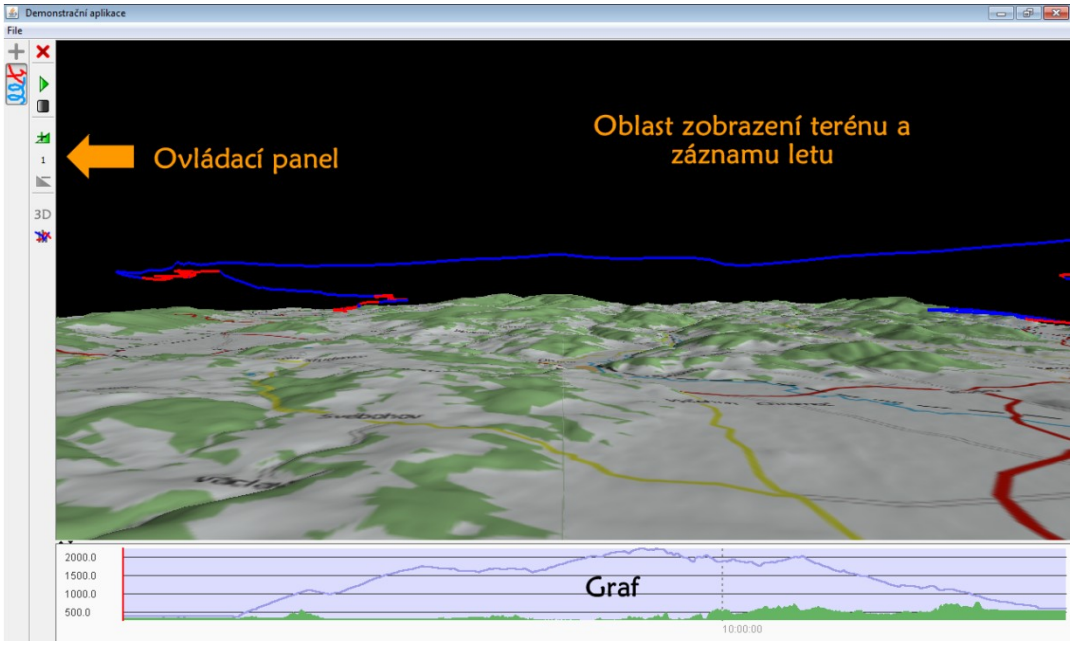
[o1] Obrázky, jejichž základem je vizualizace pomocí vytvořené demonstrační aplikace.

[o2] Ostatní obrázky vytvořené autorem přímo pro účely této práce.

Příloha A: Demonstrační aplikace

Vytvořená aplikace má za cíl demonstrovat některé způsoby řešení problému vizualizace terénu a záznamu letu kluzáku. Dále nabízí možnosti analýzy záznamu prostřednictvím přímého pohledu na trajektorii letu, grafu, který zobrazuje vybrané hodnoty a údajů v textové podobě.

A.1 Popis okna aplikace



Obrázek A1: Okno demonstrační aplikace.

A.1.2 Akce ovládacího panelu

- otevřít nový soubor se záznamem
- přehrát záznam
- pozastavit záznam
- zastavit záznam a posunout jej na začátek
- zavřít zobrazovaný soubor
- zvýšit rychlost přehrávání
- snížit rychlost přehrávání
- zobrazit 3D scénu
- zobrazit statistiky letu

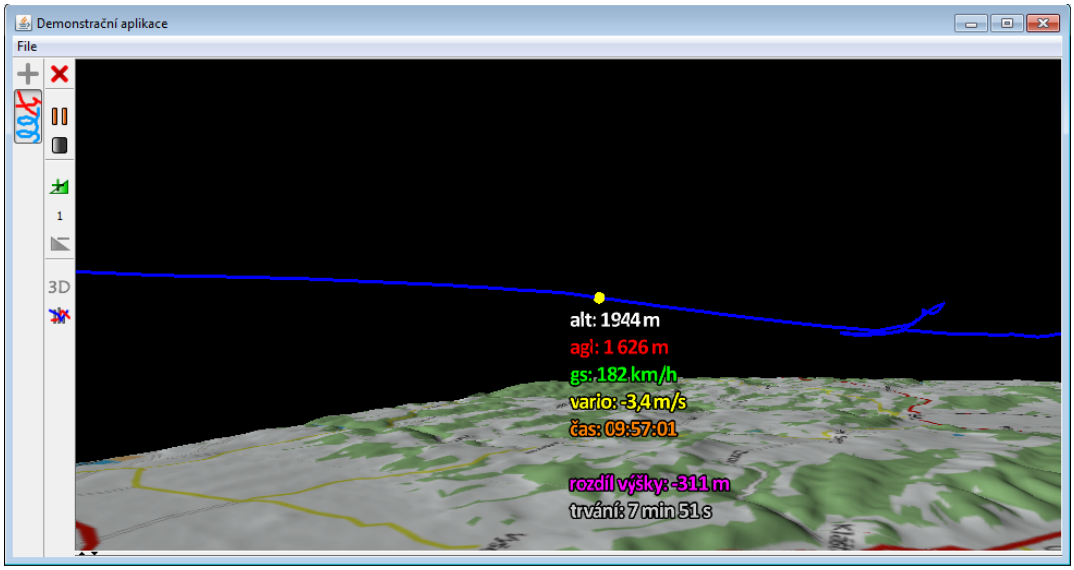
A.2 Ovládání pohybu kamery

Klávesa	*Akce*
W	vpřed
S	vzad
D	bokem doprava
A	bokem doleva
Q	vzhůru
E	dolů
←	otáčení na místě vlevo
→	otáčení na místě vpravo
↑	otáčení na místě vzhůru
↓	otáčení na místě dolů

Po stisku tlačítka je pohled kamery zaměřen na aktuální polohu kluzáku. Při nezapočatém nebo ukončeném přehrávání lze měnit směr pohledu kamery uvedenými klávesami shodně jako po stisku tlačítka .

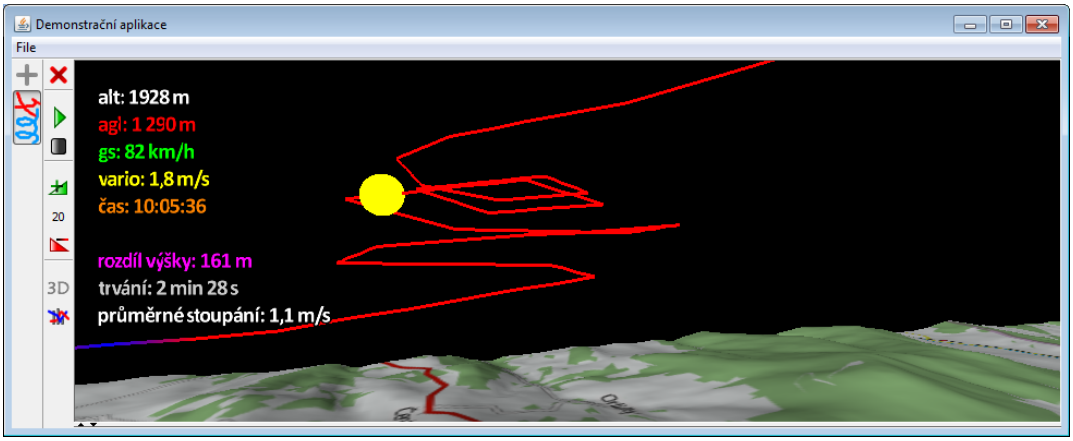
A.3 Zobrazení letových údajů

Při spuštěném přehrávání tlačítkem jsou letové údaje zobrazovány v místě polohy kluzáku na obrazovce.



Obrázek A2: Zobrazení letových údajů při spuštěném přehrávání záznamu.

Při pozastavení přehrávání tlačítkem nebo zastavení tlačítkem jsou letové údaje zobrazovány v levém horním rohu zobrazovací oblasti.



Obrázek A3: Zobrazení letových údajů při pozastaveném přehrávání záznamu.

A.3.1 Popis letových údajů

alt	nadmořská výška
agl	výška nad terénem
gs	rychlost vůči zemi
vario	stoupání
čas	aktuální denní čas v záznamu
rozdíl výšky	rozdíl výšky během aktuální fáze letu
trvání	trvání aktuální fáze letu
průměrné stoupání	průměrná hodnota stoupání během aktuální fáze kroužení (zobrazuje se jen při kroužení)

Příloha B: Seznam elektronických příloh

- definice popisovaného souboru pro uložení výškových dat
- popis souboru pro uložení OSM dat a jeho praktický příklad v textové podobě
- text diplomové práce ve formátu PDF
- projekt demonstrační aplikace pro prostředí Netbeans 6.9
- spustitelná verze demonstrační aplikace s potřebnými výškovými daty a testovacími záznamy letu ve formátu IGC