



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

ÚSTAV INTELIGENTNÍCH SYSTÉMŮ

DEPARTMENT OF INTELLIGENT SYSTEMS

**DOPLNĚNÍ GEOGRAFICKÝCH SOUŘADNIC DO FO-
TOGRAFIÍ PODLE ZÁZNAMU TRASY**

ADDING GEOGRAPHIC COORDINATES BASED ON TRACK RECORD TO PHOTOGRAPHS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JIŘÍ MAREŠ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. LUKÁŠ SEMERÁD

BRNO 2018

Vysoké učení technické v Brně - Fakulta informačních technologií

Ústav inteligentních systémů

Akademický rok 2017/2018

Zadání bakalářské práce

Řešitel: **Mareš Jiří**

Obor: Informační technologie

Téma: **Doplnění geografických souřadnic do fotografií podle záznamu trasy**
Adding Geographic Coordinates Based on Track Record to Photographs

Kategorie: Uživatelská rozhraní

Pokyny:

1. Zjistěte možnosti přístupu aplikace k souborům pro úpravu metadat a seznamte se s dostupnými formáty souborů typu GPX.
2. Navrhněte aplikaci pro zapsání geografických souřadnic do fotografií za pomoci záznamu trasy. Dále navrhněte řešení synchronizace časů ve fotografiích a trasách.
3. Implementujte aplikaci pro PC dle předchozího bodu zadání.
4. Otestujte vytvořenou aplikaci zobrazením fotografií na mapě a prezentujte výsledky.

Literatura:

- Li, S., Dragičević, S., Veenendaal, B.: Advances in Web-based GIS, Mapping Services and Applications, CRC Press, 2011, ISBN 978-0-415-89081-6
- Viayaraghavan, J., Dhanapal, Y.: ArcGIS for JavaScript Developers by Example. Packt Publishing, 2016, ISBN 978-1-78588-866-3

Pro udělení zápočtu za první semestr je požadováno:

- První dva body zadání

Podrobné závazné pokyny pro vypracování bakalářské práce naleznete na adrese <http://www.fit.vutbr.cz/info/szz/>

Technická zpráva bakalářské práce musí obsahovat formulaci cíle, charakteristiku současného stavu, teoretická a odborná východiska řešených problémů a specifikaci etap (20 až 30% celkového rozsahu technické zprávy).

Student odevzdá v jednom výtisku technickou zprávu a v elektronické podobě zdrojový text technické zprávy, úplnou programovou dokumentaci a zdrojové texty programů. Informace v elektronické podobě budou uloženy na standardním nepřepisovatelném paměťovém médiu (CD-R, DVD-R, apod.), které bude vloženo do písemné zprávy tak, aby nemohlo dojít k jeho ztrátě při běžné manipulaci.

Vedoucí: **Semerád Lukáš, Ing., UITS FIT VUT**

Datum zadání: 1. listopadu 2017

Datum odevzdání: 16. května 2018

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
Fakulta informačních technologií
Ústav inteligentních systémů
602 00 Brno, Božetěchova 2

doc. Dr. Ing. Petr Hanáček
vedoucí ústavu

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou doplnění geografických souřadnic do metadat fotografií za pomoci záznamu trasy pořízeného například využitím systému GPS. Kromě automatického doplnění dat má uživatel možnost provést jejich úpravu či manuální přiřazení za pomoci diagramu trasy s mapovým podkladem. Cílem je implementovat uživatelsky jednoduchou aplikaci pro tento účel. Aplikace je vytvořena v jazyce Java a je tedy možné ji spouštět na různých operačních systémech.

Abstract

The aim of this bachelor thesis is to fill photos metadata with geographic coordinates using a track record obtained from the GPS system. Besides the automated process, users are given the ability to modify or fill the data themselves through a map canvas with the recorded track. The goal is to implement simple user-friendly application for this purpose. The Application was created using the Java programming language and this allows for great multiplatform compatibility.

Klíčová slova

fotografie, metadata, záznam trasy, GPS, GPX, EXIF, Java, automatické doplnění údajů

Keywords

photos, metadata, track record, GPS, GPX, EXIF, Java, automatic data filling

Citace

MAREŠ, Jiří. *Doplnění geografických souřadnic do fotografií podle záznamu trasy*. Brno, 2018. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Vedoucí práce Ing. Lukáš Semerád

Doplnění geografických souřadnic do fotografií podle záznamu trasy

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením pana Ing. Lukáše Semeráda. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....

Jiří Mareš
16. května 2018

Poděkování

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Lukášovi Semerádovi za vedení, rady a konzultace při vypracovávání této práce.

Obsah

1	Úvod	3
2	Analýza současné situace	4
2.1	Průzkum trhu	4
2.2	Průzkum stávajících řešení	4
3	GPS Exchange Format	5
3.1	Waypoint	5
3.2	Záznam cesty Track	6
3.3	Trasa Route	6
4	Global Positioning System	7
4.1	Historie GPS	8
4.2	Princip fungování systému GPS	9
4.3	Segmenty systému GPS	10
4.3.1	Kosmický segment (GPS Space Segment)	11
4.3.2	Řídicí segment (GPS Ground/Control Segment)	11
4.3.3	Uživatelský segment (GPS User Segment)	12
5	Zeměpisné systémy	13
5.1	World Geodetic System 1984	13
5.2	Mercatorovo zobrazení	14
6	Metadata	15
6.1	Formáty metadat EXIF a TIFF	15
7	Návrh aplikace	18
7.1	Určení geografických souřadnic	18
7.2	Synchronizace časů mezi zařízeními	18
7.3	Zobrazení souřadnic trasy	18
7.4	Manuální přiřazení souřadnic	19
7.5	Import fotografií	19
7.6	Export fotografií	19
8	Implementace	20
8.1	Programovací jazyk a vývojové prostředí	20
8.2	Použité externí knihovny	20
8.3	Další zdroje dat	21
8.3.1	OpenStreetMap	21

8.4	Uživatelské prostředí aplikace	22
8.4.1	Framework Swing	22
8.4.2	Dialog pro inicializaci dat aplikace	23
8.4.3	Dialog pro synchronizaci časů	24
8.4.4	Hlavní okno aplikace	25
8.4.5	Dialog pro zápis zeměpisných údajů do metadat fotografií	26
8.5	Reprezentace fotografií	27
8.6	Reprezentace zeměpisných souřadnic	28
8.7	Synchronizace fotografií a tras	28
8.8	Vizualizace zeměpisných dat	29
8.9	Mapové podklady a jejich stažení	30
8.10	Zpracování dat ze záznamu ve formátu GPX	31
8.11	Panel pro vykreslování obrázků	32
9	Závěr	33
	Literatura	34

Kapitola 1

Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou automatického zápisu geografických souřadnic do metadat fotografií podle záznamu trasy. Podobnou funkcionalitu automatického zápisu zeměpisných souřadnic při pořízení fotografie dnes poskytuje většina chytrých mobilních telefonů a může se tedy zdát, že se jedná o zbytečnost. Dnešní chytré mobily také disponují velice kvalitními fotoaparáty, které umí pořizovat kvalitní fotografie, ale i přes různé techniky filtrování až po využití umělé inteligence se z důvodu jejich kompaktnosti pravděpodobně nikdy nevyrovnají opravdovým fotoaparátům.

Tím se dostáváme k fotoaparátům. Při průzkumu trhu bylo zjištěno, že pouze malé množství digitálních fotoaparátů je dostupné s integrovaným přijímačem GPS signálu a klasické analogové fotoaparáty samozřejmě tuto možnost vůbec nemají. Cílovou skupinou tohoto projektu jsou tedy uživatelé zejména digitálních fotoaparátů, kteří chtějí mít k dispozici zeměpisnou polohu u svých fotografií, ale nestačí jim k jejich pořízení mobilní telefon.

Cílem této bakalářské práce je implementovat aplikaci pro stolní počítače, která dokáže automaticky doplnit zeměpisné údaje do vybraných fotografií za pomoci záznamu trasy ve formátu GPX.

V první části tohoto dokumentu jsou teoretické informace o formátu GPX, systému GPS a zeměpisných systémech. Dále je zde kapitola věnovaná návrhu funkcionality aplikace a poté následuje podrobný popis samotné implementace aplikace.

Kapitola 2

Analýza současné situace

2.1 Průzkum trhu

Průzkumem nabídek českých online obchodů bylo zjištěno, že většina fotoaparátů není vybavena integrovaným přijímačem signálu GPS.

Zdroj dat k 7. 5. 2018	Integrované GPS		
	Ano	Ne	Podíl
https://www.megapixel.cz/digitalni-zrcadlovky	12	24	33,33 %
https://www.megapixel.cz/kompakty-s-vymennym-objektivem	2	44	4,35 %
https://www.megapixel.cz/digitalni-kompakty	5	65	7,14 %
https://www.megapixel.cz/profesionalni-fotoaparaty	3	8	27,27 %
https://www.czc.cz/digitalni-fotoaparaty/produkty	19	211	8,26 %
https://www.czc.cz/digitalni-zrcadlovky/produkty	9	87	9,38 %
https://www.alza.cz/digitalni-fotoaparaty/18843129.htm	59	802	6,85 %
https://www.mall.cz/digitalni-kompakty	24	88	21,43 %

Tabulka 2.1: Fotoaparáty s GPS v českých online obchodech

2.2 Průzkum stávajících řešení

Při průzkumu stávajících řešení bylo zjištěno, že sice existuje docela velké množství aplikací s podobnou funkcionalitou, ale každá z nich nese nějaký kompromis. Většinou se jedná o placené aplikace fungující pouze pod jednou platformou (zejména Windows nebo Mac OS) nebo pro svůj chod vyžadují instalaci dalšího externího software, a nebo poskytují pouze základní velice limitovanou funkcionalitu ve smyslu zápisu geografických dat. Převážně jde o software určený pro jiné účely než automatický zápis geografických dat a tato funkce je tedy spíše vedlejší.

Závěrem je tedy zjištění, že nebyla nalezena žádná jednoduchá multiplatformní aplikace, která je volně dostupná a poskytuje požadovanou funkcionalitu.

Kapitola 3

GPS Exchange Format

GPS Exchange Format, zkráceně GPX je XML schéma sloužící pro výměnu GPS dat mezi různými aplikacemi a nebo webovými službami. Formát GPX umožňuje ukládat základní typ dat **Waypoint** (bod se souřadnicemi) a dva typy od něj odvozené:

- Track (záznam cesty)
- Route (trasa složená z waypointů)

Aktuální verze 1.1 specifikace tohoto formátu byla vydána v srpnu 2004 a je považována za standard ve výměně GPS dat již od vydání verze 1.0 v roce 2002. [4]

Dále je možné rozšířit formát GPX o vlastní elementy z jiných schémat pomocí podelementu **extensions**.

3.1 Waypoint

Tento element ukládá informace o konkrétním bodu a dále se používá v elementech **Track** a **Route**, které jsou z něj odvozeny. Každý **Waypoint** má dva povinné atributy: **lat** (zeměpisná šířka) a **lon** (zeměpisná délka). Jejich hodnoty jsou udávány ve stupních pomocí desetinného čísla.

Dále je možné pomocí podelementů uložit informace těchto kategorií [3]:

- Pozice (tabulka 3.1)
- Popis (tabulka 3.2)
- Přesnost (tabulka 3.3)

Pozice	
ele	Nadmořská výška v metrech.
time	UTC časové razítko ve formátu ISO 8601.
magvar	Magnetická deklinace ve stupních
geoidheight	Průměrná nadmořská výška (v metrech) nad WGS84 elipsoidem.

Tabulka 3.1: Seznam podelementů elementu **WayPoint** pro uložení informací o pozici

Popis	
name	GPS jméno souřadnice.
cmt	Komentář k GPS waypointu.
desc	Textový popis elementu nesoucí další data pro uživatele.
src	Zdroj GPS dat.
link	Odkaz k dalším informacím o waypointu.
sym	Text názvu GPS symbolu.
type	Typ (klasifikace) waypointu.

Tabulka 3.2: Seznam podelementů elementu WayPoint pro jeho popis.

Přesnost	
fix	Typ GPS fixace. Možné hodnoty: none, 2d, 3d, dgps, pps
sat	Počet satelitů použitých pro výpočet pozice.
hdop	Horizontální rozptyl přesnosti.
vdop	Vertikální rozptyl přesnosti.
pdop	Poziční rozptyl přesnosti.
ageofdgpsdata	Počet sekund od poslední aktualizace diferenciální GPS.
dgpsid	ID diferenciální GPS stanice použité ke korekci.

Tabulka 3.3: Seznam podelementů elementu WayPoint pro uložení informací o přesnosti záznamu

3.2 Záznam cesty Track

Slouží k uložení seznamu souřadnic, které reprezentují nějakou cestu, typicky se jedná o záznam nějaké již proběhlé cesty. Je tedy vhodné ukládání jednotlivých bodů v krátkých časových intervalech, aby bylo možné tuto cestu co nejpřesněji rekonstruovat.

Záznam typu **Track** je reprezentován elementem **trk**, který obsahuje nejvýznamnější podelement **trkseg** (Track segment). Track segment obsahuje podelementy **trkpt** (Track Points) a ty jsou odvozeny od typu **Waypoint**, tudíž jako podelementy lze použít všechny elementy tohoto typu a tím pádem slouží k reprezentaci jednotlivých zaznamenaných zeměpisných souřadnic.

Track segment tedy ukládá logicky seřazený seznam souřadnic pomocí podelementů **trkpt**, které nesou souřadnice jednotlivých bodů a dohromady vytváří záznam cesty. [3]

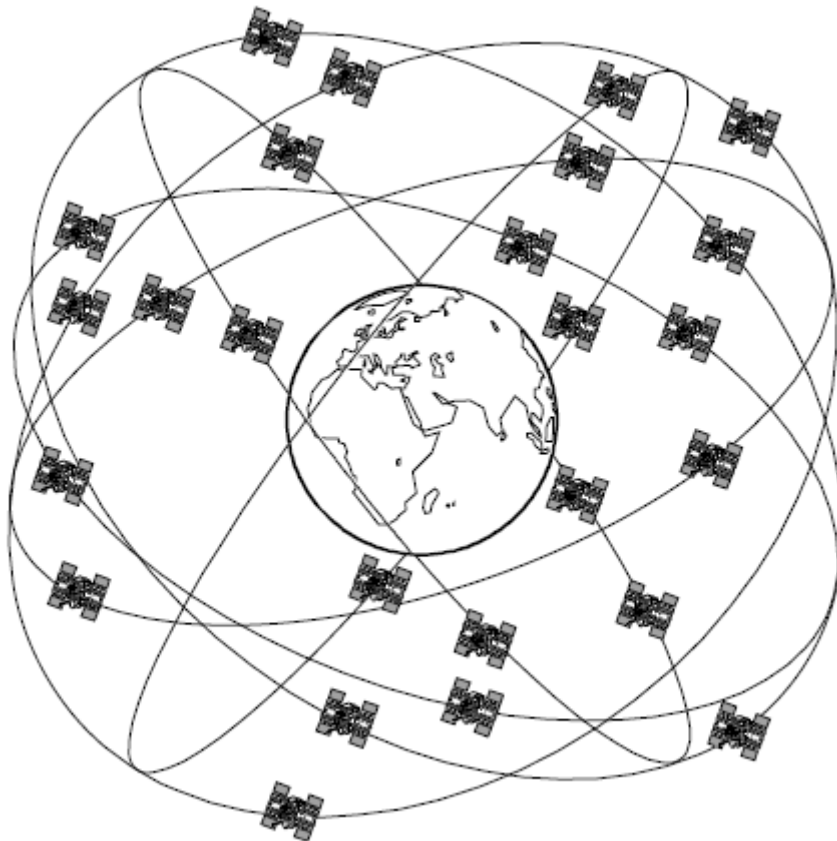
3.3 Trasa Route

Slouží k vytváření seznamu souřadnic, který reprezentuje trasu vedoucí k nějakému cíli. Typicky záznam **Route** slouží k plánování budoucích cest, při kterém se používá vektorová mapa. Na rozdíl od záznamu typu **Track** jsou tedy body ukládány pouze na rozcestích či křižovatkách nebo jiných místech zájmu a dráhy mezi těmito body jsou při prohlížení doplněny pomocí dat z mapového podkladu. [3]

Kapitola 4

Global Positioning System

Global Positioning System, zkráceně GPS nebo také NAVSTAR GPS, česky Globální polohový systém je globální družicový polohový systém vyvinutý, nasazený a provozovaný Ministerstvem obrany Spojených států amerických. Tento systém umožňuje pomocí radiového GPS přijímače určit svoji geografickou polohu (zeměpisnou šířku, zeměpisnou délku a nadmořskou výšku) a čas kdekoli na Zemi. Pro získání těchto informací je nutné mít k dispozici signál z alespoň čtyř satelitů ¹. [2]



Obrázek 4.1: Vizualizace rozmístění satelitů systému GPS [17]

¹Pro výpočet těchto čtyř neznámých jsou potřeba data ze čtyř satelitů, protože se musí sestavit čtyři rovnice o čtyřech neznámých.

4.1 Historie GPS

Systém GPS navazuje na předchozí globální družicové polohové systémy vyvíjené ve Spojených státech amerických. Vývoj začal počátkem 70. let minulého století, kdy došlo ke sloučení dvou projektů Letectva Spojených států amerických a Vojenského námořnictva Spojených států amerických, které měly za cíl poskytovat geografické souřadnice (projekt System 621B) a přesný čas (projekt Timation). Mezi roky 1978-1985 se začalo s vypouštěním celkem deseti družic sloužících k testování systému GPS (v té době byl tento systém označován jako Navstar-GPS).

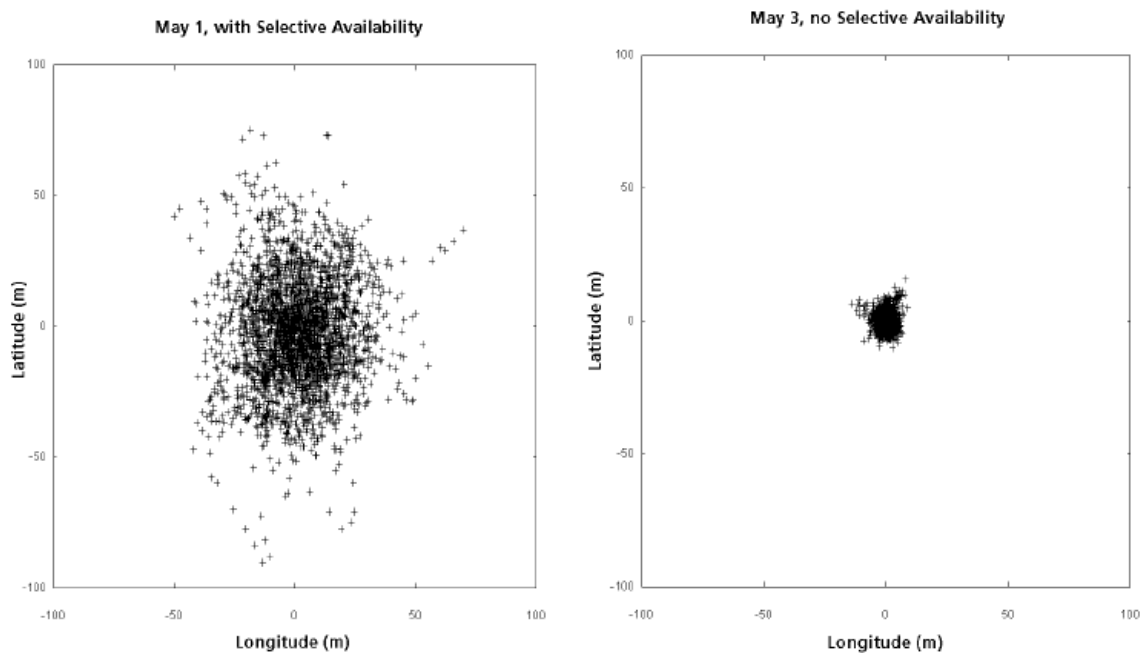
Systém měl být původně k dispozici pouze pro vojenské použití, ale v roce 1983 došlo k incidentu, kdy sovětský stíhací letoun sestřelil civilní letadlo, které nevědomě vletělo do vzdušného prostoru SSSR. Americký prezident Ronald Reagan po této tragédii oznámil, že po dokončení bude systém GPS k dispozici i pro civilní účely.

Během následujících let byly vypouštěny další satelity a konečně v prosinci roku 1993 bylo v provozu 24 satelitů poskytující režim SPS a v dubnu roku 1995 byla vyhlášena plná operační dostupnost, tzn. dostupnost šifrovaného signálu PPS. [2]

- Standard Positioning Service (SPS) - dostupný celosvětově pro všechny uživatele GPS s nižší přesností (řádově 100 metrů)
- Precise Positioning Service (PPS) - režim s vysokou přesností sloužící zejména pro vojenské účely Spojených států amerických. Šifrování dat zabráňovalo neoprávněnému použití.

Civilní signál byl v té době ale rušen americkou armádou, aby systém GPS nemohl být použit nepřátelskými silami. Prezident Bil Clinton v květnu 2000 nařídil ukončení rušení GPS signálu. V roce 2007 bylo ohlášeno, že nové satelity, označeny jako GPS III, nebudou vybaveny zařízením, které by mohlo rušit signál GPS [13]. Toto rušení způsobovalo odchylku asi 50 metrů horizontálně a asi 100 metrů vertikálně, viz obrázek 4.2.

V únoru 2016 byl vyslán nejnovější satelit na oběžnou dráhu a od roku 1978 bylo vypuštěno celkem 72 GPS satelitů [5]. V současné době je v provozu kolem 31 satelitů a další start je naplánován na rok 2018. [14]



Obrázek 4.2: Porovnání vertikální odchylky při zapnutém (vlevo) a vypnutém (vpravo) rušení signálu. [17]

4.2 Princip fungování systému GPS

Systém GPS je pouze jednostranný, tzn. družice pouze vysílají signál, který je zpracován pozemním přijímačem. Díky tomu je systém neustále k dispozici a jeho dostupnost nezáleží na aktuálním počtu uživatelů.

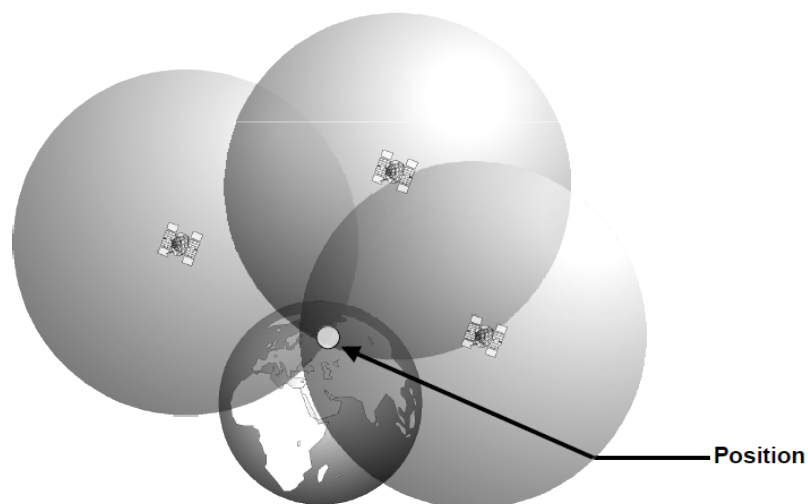
Pro jednoduchou vizualizaci se občas používá model s průnikem koulí. Při znalosti vzdálenosti jednoho satelitu může být pozorovatel kdekoli na plášti koule se středem v poloze satelitu a poloměrem rovným změřené vzdálenosti. Při znalosti vzdálenosti dvou satelitů se pozorovatel může nacházet na průniku dvou takových koulí, tedy na kružnici. Přidáním třetího satelitu je pozice pozorovatele zredukována na pouze dva body, přičemž jeden z nich leží buďto vysoko nad či hluboko pod povrchem Země.

Teoreticky by tedy pro základní určení polohy stačily pouze informace ze tří satelitů, ale přidáním údajů ze čtvrtého satelitu získáme jeden přesný průsečík všech čtyř pomyslných koulí a tím pádem i získ čas a odchylky měření. [16]

Pro výpočet čtyř neznámých se vytvoří čtyři rovnice 4.1, pro $n = 1, 2, 3, 4$

$$(X - x_n)^2 + (Y - y_n)^2 + (Z - z_n)^2 = [(T - t_n)c]^2 \quad (4.1)$$

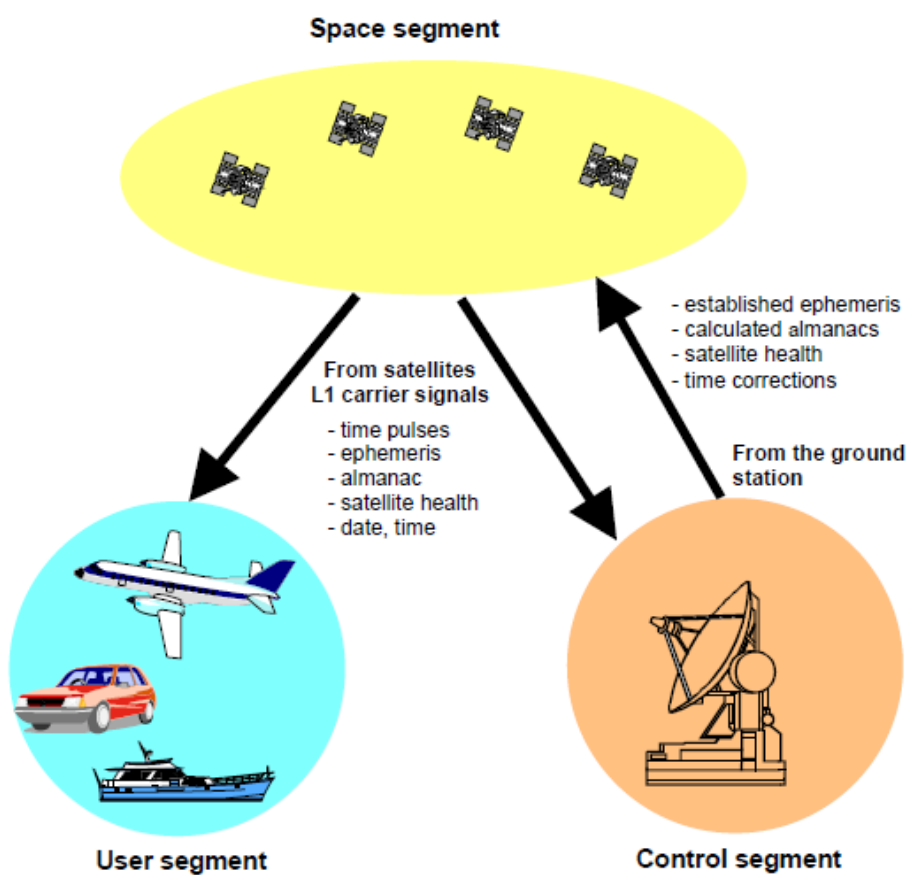
Kapesní přijímače sice nedisponují atomovými hodinami, ale ze zpráv vysílaných satelity lze vypočítat dobu letu signálu, který vysílají a tedy i přesnou polohu každého z nich.



Obrázek 4.3: Vizualizace GPS. [17]

4.3 Segmenty systému GPS

Systém GPS se skládá ze tří hlavních funkčních segmentů: kosmický, řídicí a uživatelský segment.



Obrázek 4.4: Segmenty systému GPS [17]

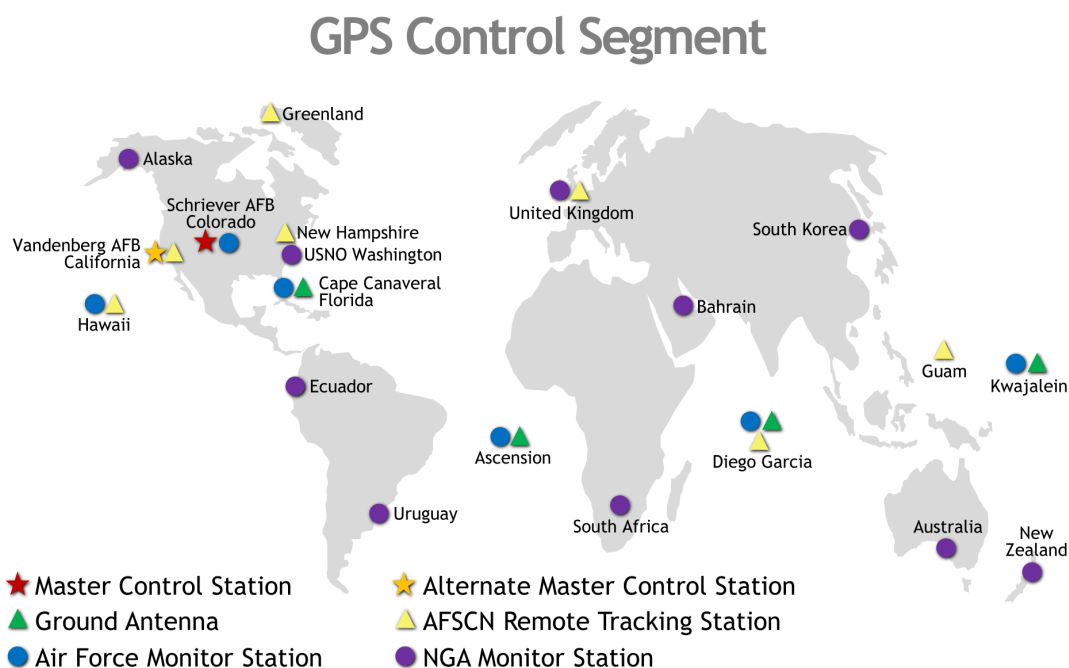
4.3.1 Kosmický segment (GPS Space Segment)

Do kosmického segmentu patří všechny satelity, které jsou v provozu a obíhají planetu Zemi. Nyní je k dispozici minimálně 24 satelitů, které jsou dostupné 95 % času, dále je k dispozici dalších 7 záložních satelitů a stále je možné použít již vyřazené satelity, které mohou být znovu aktivovány například při nenadálém selhání většího počtu aktivních satelitů [14]. S tímto počtem satelitů a jejich rozmístěním (viz. 4.1) lze ze skoro každého místa na Zemi přijímat data z alespoň šesti satelitů zároveň, přičemž minimální počet dostupných satelitů pro určení polohy je čtyři. [2]

4.3.2 Řídicí segment (GPS Ground/Control Segment)

Pro správné fungování systému GPS je nutná správa a údržba. K tomu slouží 4 prvky:

- Hlavní řídicí stanice
- Záložní řídicí stanice
- Čtyři pozemní antény
- Monitorovací stanice



Obrázek 4.5: Rozmístění stanic řídicího segmentu GPS ²

²Zdroj: <https://www.gps.gov/multimedia/images/GPS-control-segment-map.pdf>

Hlavní řídicí stanice je umístěna v Colorado Springs, Colorado na Schrieverově letecké základně a stará se o všechny aspekty řízení chodu systému GPS, například monitorování systémů GPS, aktualizace navigačních dat každého satelitu, které synchronizují atomové hodiny s přesností do jedné mikrosekundy, a mnohé další.

Monitorovací stanice jsou distribuovány po celém světě, jsou vybaveny atomovými hodinami a GPS přijímači, a jejich úkolem je nepřetržitý sběr GPS dat ze satelitů, které jsou viditelné z jejich lokací. Tato data jsou posílána do Hlavní řídicí stanice, kde jsou zpracovány a jsou vyhodnoceny odchylky drah satelitů, přesnost atomových hodin a jiné parametry.

Původně bylo těchto stanic pouze 5, ale během let 2005 a 2006 byl jejich počet rozšířen na 16. Tento počet stanic a jejich rozmístění umožňuje monitorovat každý satelit alespoň ze tří stanic v každém okamžiku, díky tomu jsou sesbíraná data mnohem přesnější. [12]

4.3.3 Uživatelský segment (GPS User Segment)

Do uživatelského segmentu spadají všechny rádiové přijímače IEEE L pásma (1 GHz až 2 GHz), které přijímají a zpracovávají GPS signál - vypočítávají GPS pozici. Tento segment je rozdělen na několik set tisíc uživatelů šifrované GPS s vysokou přesností Precise Positioning Service a dále obrovské množství³ civilních, komerčních a vědeckých uživatelů využívající GPS v režimu Standard Positioning Service. [2]

³Pravděpodobně několik miliard uživatelů, jelikož většina mobilních telefonů nyní obsahuje GPS přijímač. Zdroj: <https://www.statista.com/statistics/330695/number-of-smartphone-users-worldwide/>

Kapitola 5

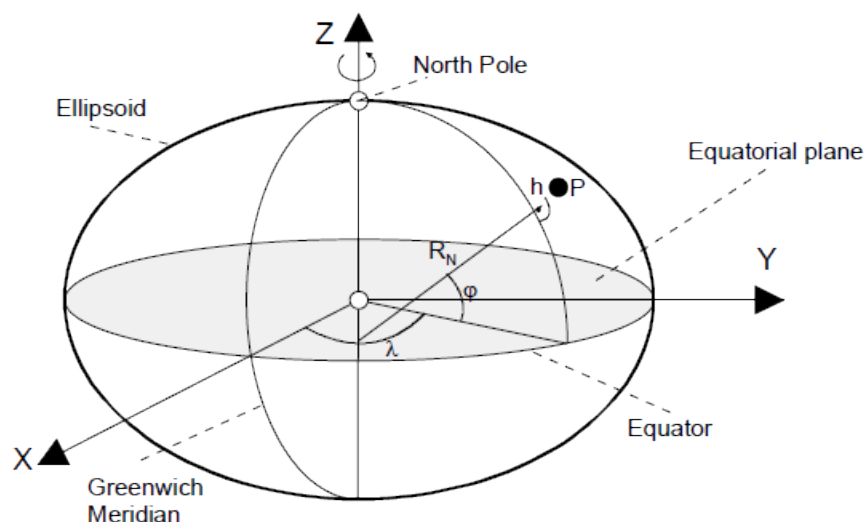
Zeměpisné systémy

5.1 World Geodetic System 1984

Při použití globálního družicového polohového systému je nutné použít ten správný systém souřadných souřadnic, jinak by mohlo vést k výrazné odchylce vypočítané pozice od té skutečné. Proto systém GPS využívá celosvětový standard zvaný WGS-84. Jedná se o geocentrickou, trojrozměrnou, pravotočivou kartézskou soustavu s počátkem v těžišti elipsoidu, který aproximuje celkovou hmotnost Země.

Elipsoid je použit místo geoidu, který reprezentuje tvar Země lépe než elipsoid, ale výpočty s ním jsou složité. Geoid je totiž definován jako povrch, kde střední hladina moří a oceánu je nula. Tento tvar je ale definován gravitací Země a jeho pravá geometrická reprezentace je tedy složitá.

Referenční elipsoid systému WGS-84 má rozměry poloos 6 378 137,00 a 6 356 752,31 metrů. Nultý poledník se nachází zhruba 5 vteřin od základního poledníku, známého také jako Greenwichský poledník. Souřadnice vycházejí z těchto zeměpisných, šířka tedy nabývá hodnot 0 až 90 stupňů směrem od rovníku k pólům a délka nabývá hodnot 0 až 180 od nultého poledníku směrem na západ a na východ. [17]



Obrázek 5.1: Ilustrace kartézské souřadné soustavy použité v systému WGS-84 [17]

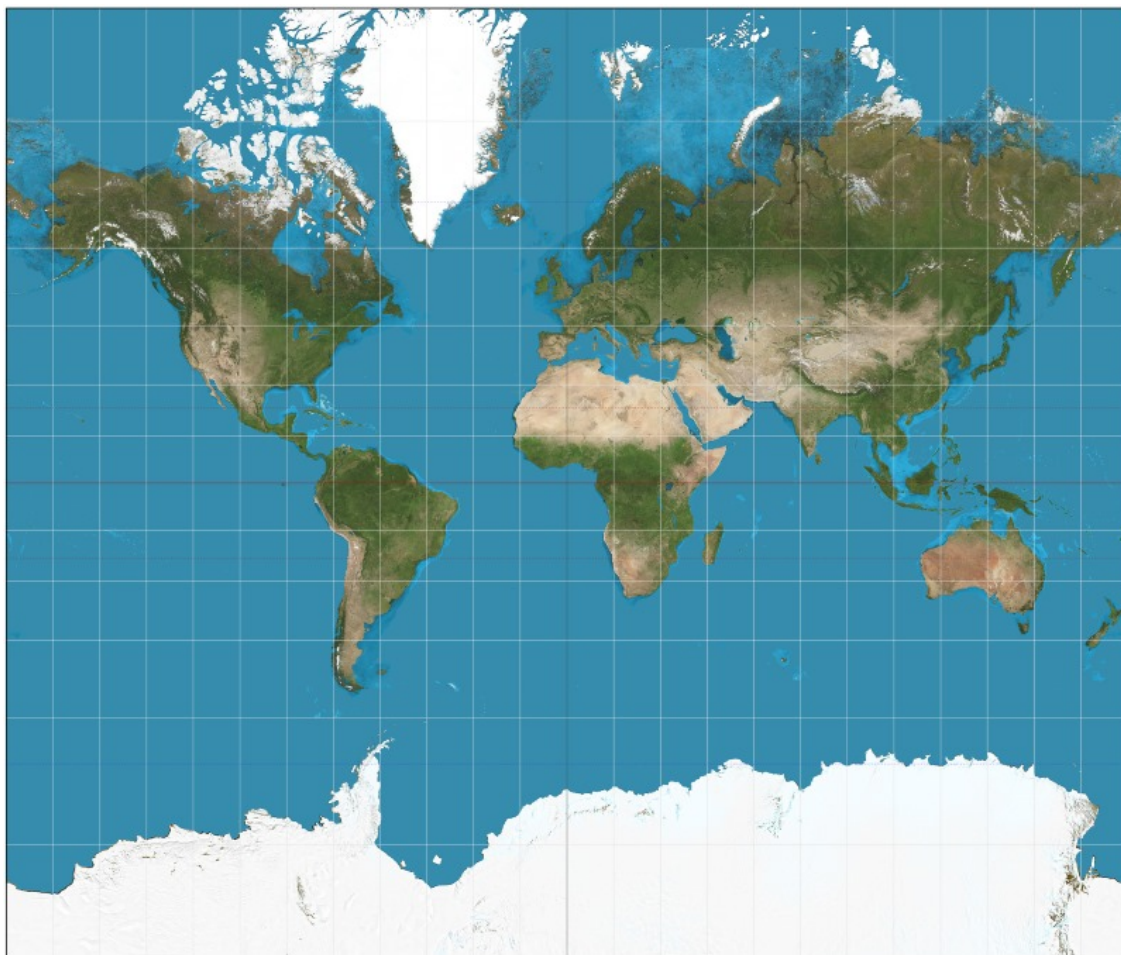
5.2 Mercatorovo zobrazení

Mercatorovo zobrazení je válcové mapové zobrazení vytvořené kartografem Gerhardem Mercatorem roku 1569. Používá se na leteckých a námořních mapách a dnes ho využívají webové mapové aplikace, zejména v jeho odvozené verzi Web Mercator.

Nějaký druh zkreslení je přítomný u každé mapové projekce, jelikož není možné převést kouli, elipsoid či geoid do plochy dokonale, a ani Mercatorovo zobrazení není výjimkou. Toto zobrazení je úhlojevné, to znamená, že úhly zůstávají nezkreslené, proto se Mercatorovo zobrazení často používalo pro navigaci, ale plochy jsou silně zkresleny.

Rovník se po celém svém obvodu dotýká válce, proto je zde zkreslení nejmenší. Jelikož jsou ostatní rovnoběžky zobrazeny stejnou délkou jako rovník a jejich vzájemné rozestupy se zvětšují až do nekonečna, míra zkreslení se s rostoucí vzdáleností od rovníku zvětšuje. Toto zobrazení tedy není vůbec vhodné k zobrazení pólů a běžně mají mapy s tímto zobrazením rozsah pouze kolem 85 stupňů severní a jižní šířky.

Kvůli tomuto zkreslení je například plocha Grónska srovnatelná s plochou celé Afriky, ale ve skutečnosti je asi 14x menší. [15]



Obrázek 5.2: Mapa světa využívající Mercatorovo zobrazení mezi 82. stupněm severní a jižní šířky. ¹

¹Zdroj: https://en.wikipedia.org/wiki/Mercator_projection

Kapitola 6

Metadata

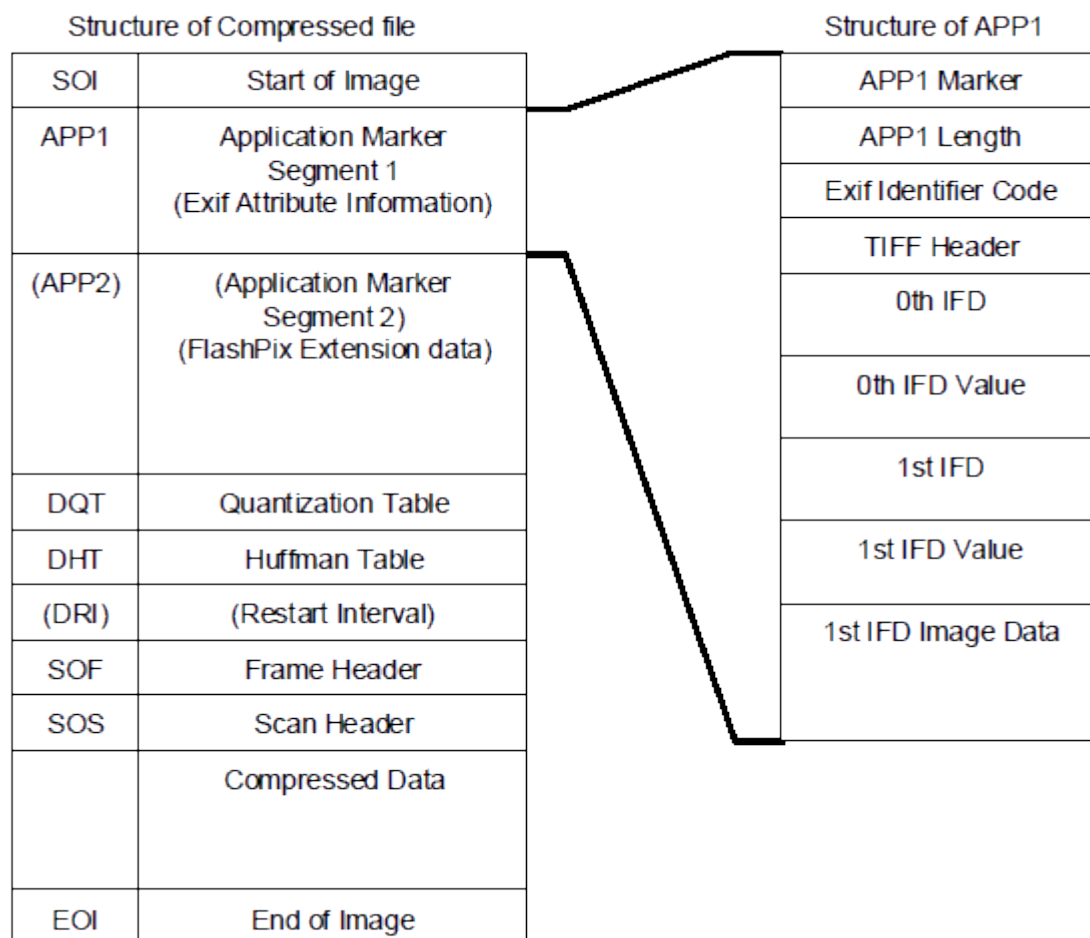
Metadata jsou data, která poskytují informace o jiných datech. Vyskytují se například v souborových systémech (zde nesou informace o jednotlivých souborech, například velikost, čas vytvoření, oprávnění a mnoho dalších), v HTML dokumentech (tag meta), mobilní operátoři ukládají informace o hovorech (délka a čas hovoru, připojené strany, atd.) a v různých multimédiích jako audio/video nahrávkách a fotografiích, kde se ukládají například informace o autorovi, použitém zařízení, nastavení parametrů, geografické poloze a další. [6]

6.1 Formáty metadat EXIF a TIFF

Exchangeable image file format, zkráceně EXIF, je formát metadat používaný pro uložení informací do fotografií nebo audio nahrávek a je podporován skoro všemi výrobci fotoaparátů. Podporu pro EXIF poskytují pouze formáty JPEG a TIFF pro obrázky a formát WAV pro audio. EXIF umožňuje ukládat velké množství dodatečných informací, mezi nimi je i čas pořízení a GPS souřadnice místa pořízení. [6]

Metadata formátu EXIF je možné prohlížet a upravovat, některé z nich přímo v operačních systémech, např. OS Windows nativně umožňuje přidávat většinu chybějících údajů, ale měnit lze jen některé údaje a někdy jen jejich část (u času pořízení fotografie lze změnit jen datum pořízení, přičemž čas zůstane stejný), nebo je dokonce nelze měnit vůbec, např. zeměpisné údaje. Pro pokročilejší úpravy a práci s těmito metadaty je tedy vhodné, a v některých případech i nutné, použít specializovaný software.

Formát metadat EXIF je odvozen od formátu TIFF a přebírá tedy velké množství štítků. Při použití EXIF metadat v souborech formátu JPEG se tato metadata ukládají do tzv. Application-specific segmentů, zkráceně se tyto segmenty nazývají APPn. EXIF metadata jsou uloženy v segmentech APP1 či APP2 (viz. 6.1), kde jsou typicky uloženy ve struktuře typu TIFF (viz. 6.2), od které je tento formát odvozen. [1]



Obrázek 6.1: Uložení metadat formátu EXIF v komprimovaném souboru typu JPEG. [1]

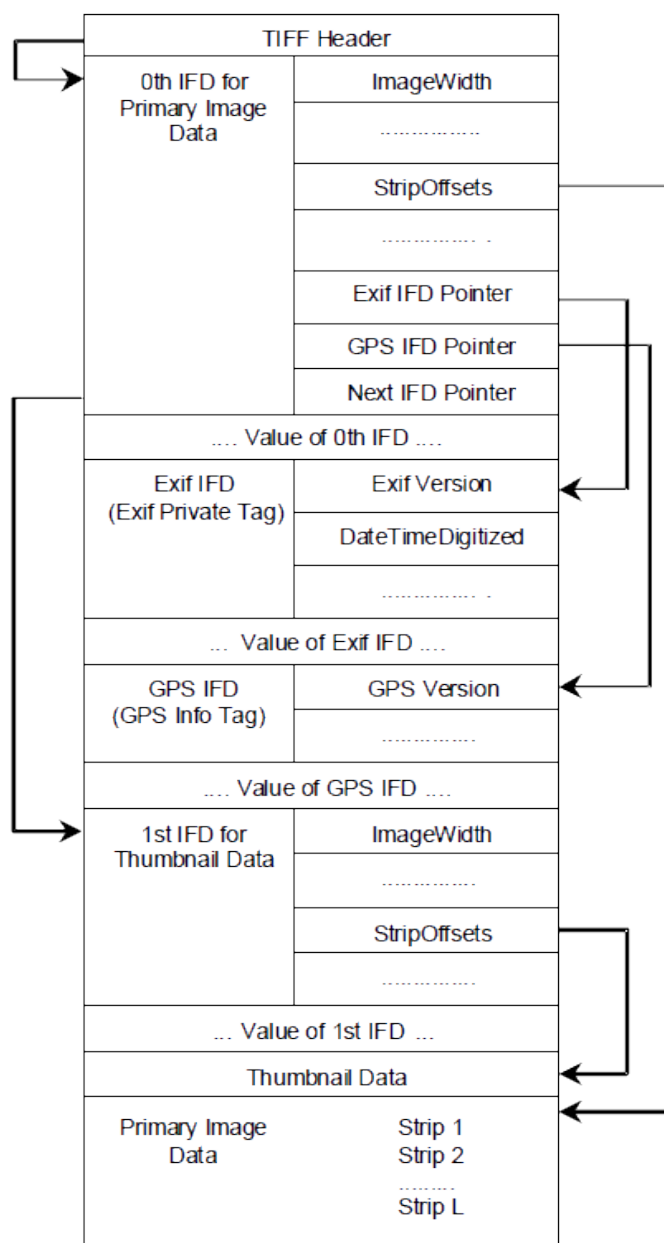
Jak již bylo zmíněno, formáty EXIF a TIFF sdílejí velké množství štítků, proto zde budou popsány pouze ty vhodné pro implementaci aplikace, tedy ty nesoucí informace o času pořízení fotografie, použitém fotoaparátu a GPS pozici.

TIFF štítky jsou rozděleny do několika kategorií, hlavní z nich jsou výchozí štítky tzv. Baseline TIFF tags, které jsou jádrem specifikace TIFF. Tato kategorie nese základní informace o fotografii jako její rozměry atd. Mimo jiné jsou zde uloženy informace o výrobci a modelu použitého fotoaparátu pomocí štítků `Make` a `Model`, a také datum a čas pořízení fotografie ve štítku `DateTime`.

Formát tohoto štítku je `yyyy:MM:dd HH:mm:ss`, kde `yyyy` značí rok, `MM` měsíc, `dd` den, `HH` hodiny, `mm` minuty a `ss` sekundy. Využívá se 24 hodinový formát, jednotlivé části jsou odděleny dvojtečkou, datum je od času odděleno jednou mezerou a celý řetězec je ukončen jedním znakem NUL s binární hodnotou 0. Celková délka tohoto štítku je tedy vždy 20 znaků. [10]

Další kategorie jsou štítky Extension Tags a Private Tags obsahující další informace k obrázkům, ale nenesou pro tuto aplikaci významné štítky. Významnou kategorií je Private IFD Tags, která obsahuje EXIF a GPS štítky. Mezi EXIF štítky patří `DateTimeOriginal` nesoucí informace o času vygenerování původních obrázkových dat a `DateTimeDigitized` nese čas uložení digitálních dat obrázku. Při použití digitálního fotoaparátu obsahují tyto štítky stejné hodnoty. Formát obou štítků je stejný jako výše popsany formát TIFF štítku `DateTime`.

GPS štítky ukládají různé informace o místě pořízení fotografie. Nejvýznamnější štítky jsou tedy `GPSLatitude` zaznamenávající zeměpisnou šířku a `GPSLongitude` zeměpisnou délku. [11]



Obrázek 6.2: Vizualizace TIFF metadat. [1]

Kapitola 7

Návrh aplikace

Funkcionalita:

- Zapsání souřadnic do metadat fotografie
- Přímý zápis souřadnic ze záznamu GPX nebo jejich interpolace
- Synchronizace časů mezi zařízeními a databáze synchronizací
- Zobrazení souřadnic trasy
- Manuální přiřazení souřadnic
- Import fotografií
- Export fotografií

7.1 Určení geografických souřadnic

Aplikace načte čas pořízení každé fotografie ze záznamu EXIF a pomocí dat ze záznamu GPX vyhodnotí geografické souřadnice místa pořízení fotografií. Uživatel bude mít na výběr použít přímo souřadnice ze záznamu GPX (vhodné při krátkých intervalech zaznamenávání), nebo jestli má proběhnout lineární interpolace souřadnic, například když bude záznam souřadnic příliš řídký.

7.2 Synchronizace časů mezi zařízeními

Pro záznam trasy GPX a pořízení fotografie budou použita alespoň dvě různá zařízení, proto je vhodné provést synchronizaci časů pro zvýšení přesnosti.

Aplikace tedy rozpozná použité fotoaparáty z metadat fotografií a uživatel bude mít možnost synchronizovat tato zařízení. Informace o synchronizaci se poté uloží do databáze a při následujících sezeních bude mít uživatel možnost využít automatické synchronizace.

7.3 Zobrazení souřadnic trasy

Hlavní okno aplikace bude obsahovat jednoduchý diagram zobrazující načtenou trasu ze záznamu GPX. Uživatel bude mít možnost přepnout, která trasa se zde zobrazí, když bude

záznam GPX obsahovat více tras. Druhá část okna bude obsahovat galerii načtených fotografií a informace ke každé z nich. Po výběru fotografie se zobrazí přiřazená souřadnice na diagramu.

7.4 Manuální přiřazení souřadnic

Pomocí manuálního přiřazení bude mít uživatel možnost vybrat místo z diagramu či zadat zeměpisné souřadnice do textového pole. Takto vybraná souřadnice se uloží do předem vybrané fotografie a bude vyznačena na diagramu. Při exportu fotografií bude mít takto nastavená souřadnice nejvyšší prioritu.

7.5 Import fotografií

Pro import fotografií bude mít uživatel k dispozici několik možností. Základní funkce bude manuální vybrání jednotlivých fotografií pomocí několikanásobného výběru souborů typu JPEG a TIFF. Takto vybrané soubory budou přidány do seznamu fotografií pro import a uživatel bude moci přidat další soubory stejným způsobem nebo vymazat některé fotografie z tohoto seznamu.

Dále bude možné vyfiltrovat požadované fotografie podle použitého fotoaparátu, informace o fotoaparátech budou automaticky načteny ze záznamu EXIF ze všech vybraných fotografií. Tato možnost slouží hlavně k tomu, když uživatel jednoduše vybere všechny fotografie z daného adresáře místo manuálního výběru, a poté jen vybere fotoaparáty pro filtr fotografií.

7.6 Export fotografií

Pro export fotografií bude mít uživatel možnost vybrat, zda chce geografické souřadnice zapsat přímo do poskytnutých fotografií, nebo jestli se má vytvořit kopie fotografií do vybraného adresáře a souřadnice ze zapíší do těchto kopií. Při exportu bude mít uživatel možnost vybrat, zda chce zapsat interpolované souřadnice, nebo přímo ty ze záznamu GPX.

Dále bude možné vybrat zvláštní adresář pro každou fotografii, tento výběr bude mít nejvyšší prioritu při exportu.

Kapitola 8

Implementace

8.1 Programovací jazyk a vývojové prostředí

Pro vytvoření této aplikace byl zvolen jazyk Java, který umožňuje jednoduše vytvářet přenositelné, multiplatformní aplikace a uživatelská prostředí. Jako vývojové prostředí byl použit program Netbeans 8.2, který se stará o správu souborů v projektu, automatický překlad, našeptávání kódu, zobrazení dokumentace JavaDoc, nástroje pro ladění a monitorování výkonu aplikace a mnohé další.

Netbeans vznikl jako studentský projekt v roce 1996 na Univerzitě Karlově v Praze a poté byl odkoupen firmou Sun Microsystems (tvůrce jazyka Java) v roce 1999 a následně uvolněn jako otevřený software. [7]

8.2 Použité externí knihovny

Pro tvorbu aplikace byla použita pouze jedna externí knihovna Apache Commons Imaging¹ (dříve známá jako Apache Commons Sanselan), která slouží pro práci s EXIF metadaty, jelikož Java takovou knihovnu nativně neobsahuje. Výhodou této knihovny je, že je celá napsaná přímo v Javě a nevyužívá tedy nativní kód. To umožňuje vyšší přenositelnost a spolehlivost. Knihovna poskytuje větší a lepší podporu obrázkových formátů než standardní knihovny Javy a již zmíněný přístup k obrázkovým metadatům.

¹<https://commons.apache.org/proper/commons-imaging/>

8.3 Další zdroje dat

8.3.1 OpenStreetMap

Tato aplikace slouží zejména k automatickému přiřazení souřadnic k obrázkům, ale také umožňuje vizualizaci těchto dat a jejich manuální úpravu. Z toho důvodu je vhodné zobrazit zaznamenanou trasu na nějakém mapovém podkladu.

Aplikace tedy používá mapové podklady OpenStreetMap, které jsou volně k dispozici a nevyžadují žádnou autorizaci pomocí API klíčů, či podobných technik a používají Mercatorovo zobrazení, které aplikace také používá pro převod zeměpisných souřadnic.

Mapy OpenStreetMap jsou k dispozici z velkého množství zdrojů, jelikož jsou otevřené, typicky se využívají tzv. dlaždice². Každá dlaždice je obrázek ve formátu PNG o velikosti 256×256 pixelů, který je adresovatelný ze zdrojových serverů následujícím formátem:

`<server>/zoom/x/y.png`

Zoom udává číselnou hodnotu přiblížení z intervalu typicky $\langle 0-19 \rangle$, kde 0 je nejmenší přiblížení a tato úroveň obsahuje pouze 1 dlaždici s mapou celého světa až po úroveň 19, která obsahuje přes 274 miliard dlaždic, jejich měřítko je $1 : 1000$ a jeden pixel představuje 0.298 metru ve skutečnosti. Některé zdroje poskytují i větší úrovně přiblížení než 19, ale to je vzácné, vzhledem k již tak obrovskému počtu dlaždic v 19. úrovni. [8]

Číselné hodnoty x , respektive y jsou z intervalu 0 až $2^{\text{zoom}} - 1$. Existuje vztah pro výpočet těchto hodnot ze zadaných zeměpisných souřadnic a oficiální wiki stránky OpenStreetMap³ obsahují implementace pro velké množství programovacích jazyků.

Příklady dlaždic a zápisu webové stránky jsou uvedeny na obrázcích 8.1 a 8.2:



Obrázek 8.1: Celý svět



Obrázek 8.2: FIT VUT

- Adresa obrázku 8.1: <https://a.tile.openstreetmap.org/0/0/0.png>
- Adresa obrázku 8.2: <https://a.tile.openstreetmap.org/16/35789/22443.png>

²Anglický termín je tiles

³https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Main_Page

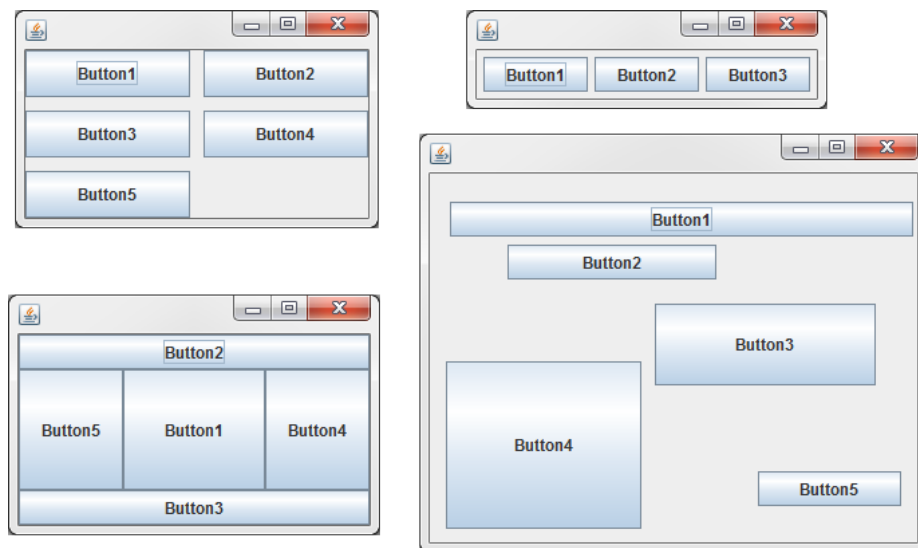
Z důvodu velkého množství dlaždic ve vyšších úrovních přiblížení, zejména úrovně 19, je možné, že načítání dlaždic bude pomalejší, jelikož takto detailní dlaždice jsou zřídka používány (vzhledem k jejich obrovskému množství) a nejsou tedy ve vyrovnávacích pamětech serverů sítí pro doručování obsahu ⁴. Z tohoto důvodu aplikace stahuje dlaždice s maximální úrovní přiblížení 17, jelikož i tato úroveň poskytuje velkou míru detailu a nezatěžuje tedy tyto servery více, než je nezbytně nutné. Také stahuje pouze dlaždice nutné pro vykreslení mapového podkladu pod zaznamenanou trasou a jejím blízkým okolím.

8.4 Uživatelské prostředí aplikace

8.4.1 Framework Swing

Framework Swing je nativní součástí Javy a základním stavebním kamenem pro tvorbu aplikací s uživatelským rozhraním. Všechny grafické komponenty této třídy jsou zděděny od rodičovské třídy `JComponent`, odvozené od třídy `Component`, která patří dnes již zastaralému frameworku AWT pocházejícímu z poloviny 90. let. Kromě komponentů nejvyšší úrovně jako jsou okna či dialogy atd. mohou všechny komponenty sloužit jako tzv. kontejner, který v sobě nese další komponenty. O rozmístění jednotlivých grafických komponentů se většinou stará správce rozložení rodičovského komponentu, ale lze je rozmísťovat i manuálně využitím absolutního pozicování.

Framework Swing využívá návrhového vzoru MVC (Model-View-Controller), který odděluje uživatelské rozhraní od logiky programu. Kvůli tomu většina komponentů má k sobě přiřazený nějaký model. Například uživatelský prvek typu seznam třídy `JList` má k sobě přiřazen model třídy `DefaultListModel`, který poskytuje data grafickému komponentu a umožňuje aplikační logice tato data měnit, mazat či přidávat data nová. Další vlastnost tohoto modelu je možnost událostního řízení aplikace. Každý komponent může mít k sobě přiřazený posluchač určité události, např. stisk tlačítka klávesnice či přjetí kurzoru myši přes tento komponent a reagovat na tuto událost definovaným způsobem. [9]



Obrázek 8.3: Ukázka různých správců rozložení: Grid, Flow, Border, Free

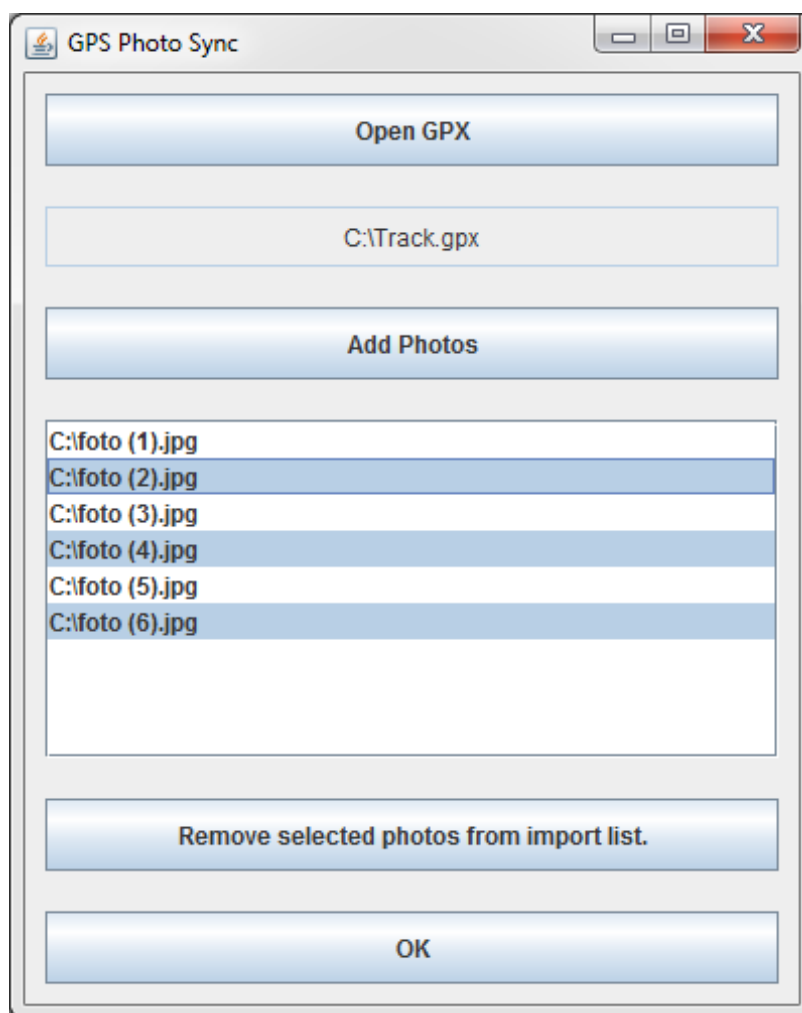
⁴Content Delivery Networks

8.4.2 Dialog pro inicializaci dat aplikace

Po spuštění aplikace se otevře inicializační dialog, sloužící pro zvolení souboru GPX a fotografií, se kterými bude aplikace pracovat. K otevření souboru slouží dialog třídy JFileChooser, pomocí kterého uživatel vybere příslušné soubory. Při otvírání souboru GPX má tento dialog nastaven filtr pro zobrazení pouze souborů s příponou GPX. Pokud je k dispozici připojení k Internetu, vybraný soubor GPX se automaticky zkontroluje, zda je validní pomocí XSD schématu⁵. Pokud soubor není validní, aplikace to oznámí uživateli, který musí vybrat validní soubor. V případě nedostupnosti internetového připojení jsou přijímány jakékoliv soubory.

Při otvírání fotografií je nastaven filtr na podporované obrázky typu JPEG a TIFF a je povolena možnost vícenásobného výběru souborů. Vybrané fotografie jsou přidány do seznamu viditelného v uživatelském prostředí a uživatel má možnost, také využitím vícenásobného výběru, vybrat fotografie, které nechce zahrnout do konečného výběru.

Při neúplném výběru souborů je uživatel o této skutečnosti informován a nedochází k žádné další akci. V opačném případě se otevře dialog pro synchronizaci časů.



Obrázek 8.4: Dialog pro inicializaci dat aplikace

⁵<http://www.topografix.com/gpx/1/1/gpx.xsd>

8.4.3 Dialog pro synchronizaci časů

Po výběru souboru GPX a fotografií ve výše zmíněném inicializačním dialogu se otevře dialog pro synchronizaci časů mezi použitými zařízeními. Tento dialog obsahuje seznam všech načtených fotoaparátů ze záznamu EXIF uvedených fotografií a zaškrťovací políčko u každého z fotoaparátů sloužící k možnosti zahrnout či ignorovat veškeré fotografie pořízené tímto zařízením. Dále je ke každému fotoaparátu k dispozici nastavení časové synchronizace pomocí políčka s číselnou hodnotou udávající počet vteřin a ukazatel aktuálního času posunutého o hodnotu zadanou do předchozího políčka.



Obrázek 8.5: Dialog pro synchronizaci časů

Uživatel tedy zjistí aktuální čas u každého z vypsaných zařízení a nastaví do číselného políčka takovou hodnotu, aby vedle běžící čas odpovídal aktuálnímu času každého ze zařízení. Po zadání těchto hodnot aplikace automaticky vypočítá časové rozdíly, pomocí kterých upraví vnitřní časovou reprezentaci každé fotografie pořízené daným zařízením.

Po potvrzení zadaných dat se informace o synchronizaci uloží na disk a po opětovném spuštění aplikace tento dialog automaticky nabídne možnost načíst tato synchronizační data. Soubor nesoucí tyto informace je uložen v dočasném adresáři systému a není tedy

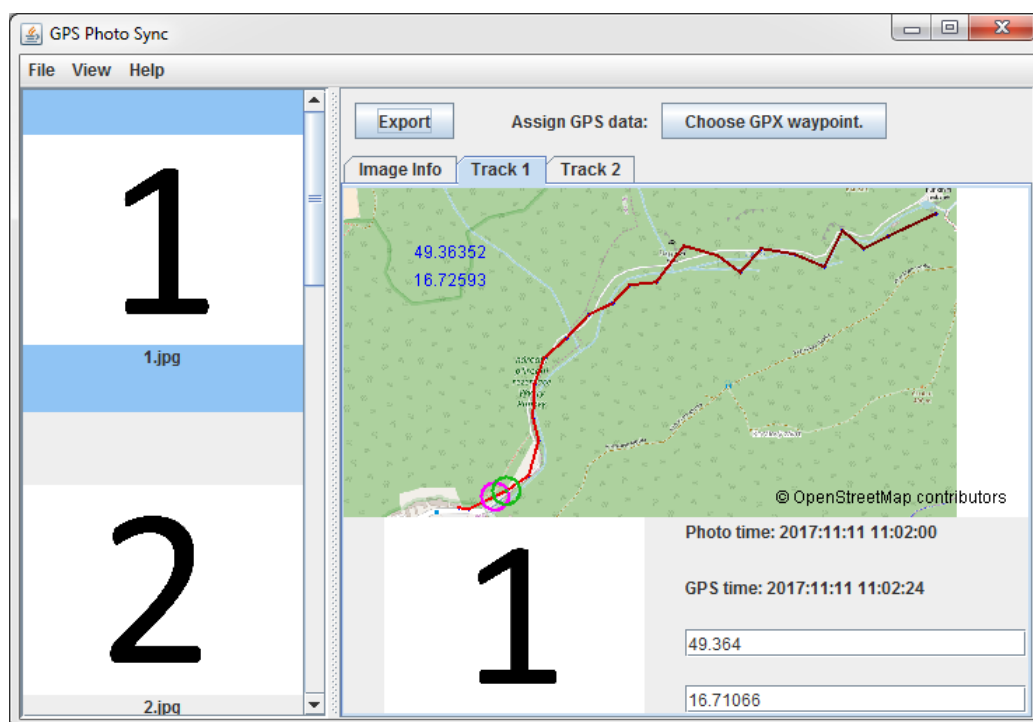
zaručena jeho existence po delší době. Toto je záměrné chování, jelikož zařízení použité pro záznam většinou používají pro svůj chod baterii, která se může vybit a tím zařízení přestane udržovat aktuální čas, nebo se může čas zpozdit z nějakého jiného důvodu. Tato funkce slouží zejména pro použití při jednom sezení, během kterého je aplikace spuštěna několikrát s různými daty ze stejných zařízení.

Poté se zjistí počet fotografií, ke kterým se mají načíst obrázková data a při jejich větším počtu bude uživatel informován o odhadnuté délce načítání. Načítání velkého množství fotografií (přes několik set) je relativně časově náročné a u může trvat přes 30 vteřin v závislosti na použitém hardwarovém vybavení. Po jejich načtení se otevře hlavní okno aplikace.

8.4.4 Hlavní okno aplikace

Třída `MainWindowGPX` se stará o inicializaci a rozložení hlavního okna aplikace. Okno je rozděleno na dvě hlavní části obsahující jednoduchou galerii s načtenými fotografiemi po levé straně a pravá strana obsahuje ovládací prvky aplikace a hlavně záložkové prostředí, ve kterém lze přepínat mezi dostupnými záložkami.

První záložka je vždy informační (identifikovaná hlavičkou **Image Info**) a obsahuje náhled vybraného obrázku, informace k němu a pomocné ovládací panely, sloužící k otevření obrázku systémovou aplikací, výběrem a zrušením cesty pro export a přepnutím do záložky s mapou obsahující záznam, ke kterému je tato fotografie přiřazena.



Obrázek 8.6: Hlavní okno aplikace

Tím se dostáváme ke zbylým záložkám (identifikovaná hlavičkou **Track #**, kde # je číslo dané trasy), které obsahují jednotlivé diagramy tras ze záznamu GPX a jejich počet je roven počtu nalezených tras v tomto záznamu. Největší část této záložky zabírá výše popsaný `trackPanel1`, na kterém je zobrazen diagram trasy. Pod ním se nachází malý náhled vybrané fotografie, informace o času pořízení fotografie, zaznamenané souřadnice a dvě tex-

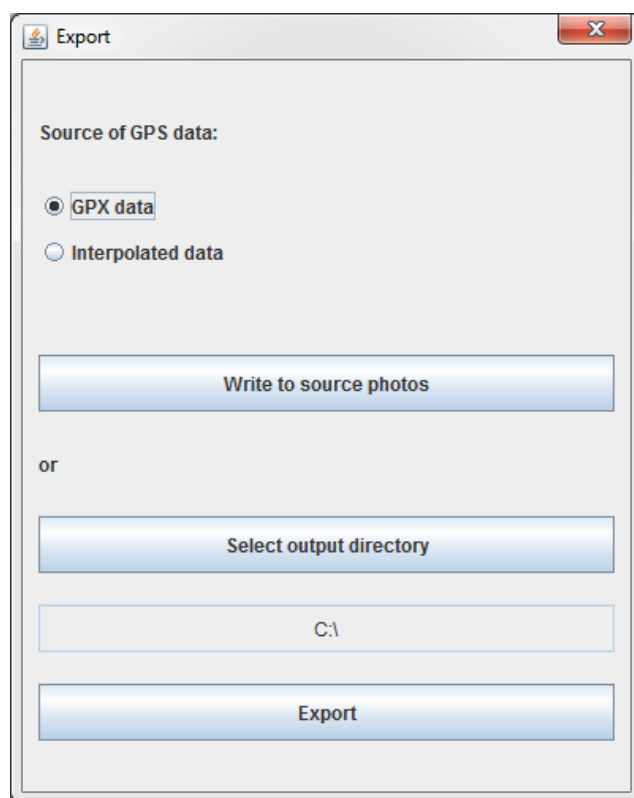
tová políčka, sloužící pro manuální zadání zeměpisné šířky respektive délky. Jejich hodnoty jsou předvyplněny a automaticky aktualizovány při výběru souřadnic z mapy. Očekávaná hodnota těchto vstupů jsou stupně ve tvaru desetinného čísla. Při zadání neplatného vstupu pozadí políčka zčervená, dokud nebude zadána platná hodnota.

Uprostřed těchto dvou hlavních panelů je rozdělovač, kterým je možné pohybovat a měnit tak poměr velikosti obrázkové galerie a záložkového prostředí. To umožňuje používat aplikaci na velkém množství zařízení s různým rozlišením a velikostí displeje. Dále se při této změně rozložení automaticky upravuje počet sloupců v galerii, aby bylo možné využít pouze horizontálního posuvníku.

Při výběru fotografie z galerie je vyznačena světle modrým pozadím a její náhled a informace jsou načteny do záložky **Image Info**. Pokud uživatel měl vybranou některou ze záložek tras při výběru fotografie, je automaticky zobrazena záložka obsahující přiřazenou trasu k vybrané fotografii, je-li k dispozici, nebo v opačném případě zůstane zobrazena záložka **Image Info**.

8.4.5 Dialog pro zápis zeměpisných údajů do metadat fotografií

Po dokončení operací s diagramem mapy a fotografiemi může uživatel zapsat tyto změny do EXIF metadat fotografií pomocí dialogu pro export dostupného po stisku tlačítka **Export** v ovládacím panelu nad diagramem. V tomto dialogu jsou na výběr dvě hlavní možnosti, a to výběr mezi typem zapsaných dat a výběr umístění výstupních souborů.



Obrázek 8.7: Dialog pro zápis zeměpisných údajů do metadat fotografií

Pro výběr typu dat je k dispozici možnost zápisu zeměpisných souřadnic přímo ze záznamu GPX, nebo zápis interpolovaných souřadnic, přičemž u fotografií s manuálně přiřazenými souřadnicemi se vždy použijí tyto hodnoty, jelikož byly explicitně vybrány uživatelem.

Základní možnost výběru umístění výstupu je zápis přímo do zdrojových souborů fotografií, alternativní možnost je výběr adresáře pro export. Podobně jako u výběru typu dat pro zápis, má i u volby umístění nejvyšší prioritu uživatelův explicitní výběr výstupních souborů. Pokud tedy uživatel zvolil jiné umístění pro některé fotografie v záložce Image Info, budou tyto výstupní soubory vždy vytvořeny v tomto umístění, i při výběru možnosti zápisu metadat přímo do zdrojových souborů.

Po exportu dat aplikace oznámí uživateli, zda se vytvoření případných nových souborů a zápis metadat zdařil a kolik fotografií bylo exportováno. V případě selhání je tato skutečnost oznámena společně se seznamem fotografií, které se nepodařilo exportovat.

8.5 Reprezentace fotografií

K reprezentaci jednotlivých fotografií načtených uživatelem slouží třída `Photo`. Při vytvoření instance této třídy se uloží informace o zdrojovém souboru dané fotografie, atribut `Path` třídy `java.io.File` reprezentuje skutečný soubor obrázku a ukládá jeho absolutní cestu a atribut `PhotoName` je řetězec obsahující pouze jméno tohoto souboru.

Poté se načtou metadata ze záznamu EXIF a uloží se informace o výrobci a modelu fotoaparátu (konkatenace těchto dvou řetězců je uložena do atributu `Camera`), kterým byla fotografie pořízena, a časové razítko, které je uloženo do atributu `time` jako řetězec a dále konvertováno z formátu definovaným specifikací EXIF do atributu `date` třídy `java.time.Instant`, která toto časové razítko reprezentuje jako Unixový čas.

EXIF date format : yyyy:MM:dd HH:mm:ss

EXIF date example: 2007:10:14 12:13:00

Dále tato třída obsahuje atributy pro uložení samotného obrázku (atribut `Image` třídy `java.awt.image.BufferedImage`) a jeho zmenšené verze (atribut `ImageThumbnail` také třídy `BufferedImage`) pro použití v náhledu galerie o maximální velikosti 200×150 px (tyto rozměry jsou definovány konstantami `ThumbnailWidth` a `ThumbnailHeight`). Atribut `Image` ovšem neukládá obrázek v původním rozlišení, ale je také provedeno jeho zmenšení na maximální rozměr 1600×1200 px (definovány konstantami `ImageWidth` a `ImageHeight`).

Samotná data obrázků ale nejsou načtena ihned při instanciaci objektu, jelikož je tato operace relativně náročná na hardware počítače, ale načítání všech dat je zahájeno zároveň s využitím všech vláken procesoru pomocí metody `LoadImage()`, což vede ke znatelnému zvýšení výkonu oproti načítání dat pouze v jednom vláknu.

Poslední významné atributy slouží k přiřazení objektu třídy `WayPoint` (atribut `wayPoint` a `wayPointInterpolated`), které slouží k reprezentaci zeměpisných dat přiřazených této fotografii.

Vedlejší atributy a metody slouží k zjištění příslušnosti zeměpisných údajů k dané trati (atributy `TrackIndex` a `TrackIndexInterpolated`), uložení uživatelem zadané cesty pro export pomocí atributu `ExportPath` třídy `java.io.File`. Atribut `TimeOffset` a metoda `AdjustTime()` slouží k uložení, respektive změnění času uloženého v dané fotografii, čehož je využito při synchronizaci časů mezi použitými fotoaparáty a samostatným zdrojem GPX souboru.

8.6 Reprezentace zeměpisných souřadnic

K reprezentaci jednotlivých zeměpisných souřadnic slouží třída `WayPoint`. Primárním zdrojem těchto souřadnic je zadaný záznam GPX, ze kterého se načte a uloží zeměpisná šířka a délka do atributů `Latitude` respektive `Longitude`. Dále se zpracuje časové razítko, které je definováno specifikací GPX formátu ISO_8601 a konvertováno do atributu `date` třídy `java.time.Instant`. Třídy `Photo` a `WayPoint` tedy ukládají načtená časová razítka v objektu stejné třídy, a to umožňuje jejich jednoduché porovnání při automatické synchronizaci fotografií s trasami a také při synchronizaci časů mezi různými použitými zařízeními.

ISO_8601 date format : YYYY-MM-DDThh:mm:ssT

ISO_8601 date example: 2017-11-11T09:59:26Z

Třída `WayPoint` je dále využita i bez zadání času, tedy zadáním pouze zeměpisné délky a šířky a to, když uživatel manuálně vybere souřadnici z mapy, nebo zadá tyto údaje přes textová pole. Tento objekt bez časového razítka je přímo přiřazen k objektu reprezentující vybranou fotografii do atributu `wayPoint` či `wayPointInterpolated`, a tudíž tato informace není potřeba, jelikož automatické synchronizace již byla provedena.

Poslední atributy `x` a `y` nesou informaci o poloze této souřadnice na mapě v hlavním okně aplikace. Podobně jako obrázková data u třídy `Photo`, tak i tyto atributy nejsou použity při instanciaci objektu, ale až proběhne analýza celé trasy a Mercatorova projekce a tím dojde k zjištění dat potřebných pro výpočet pozice na mapě v hlavním okně.

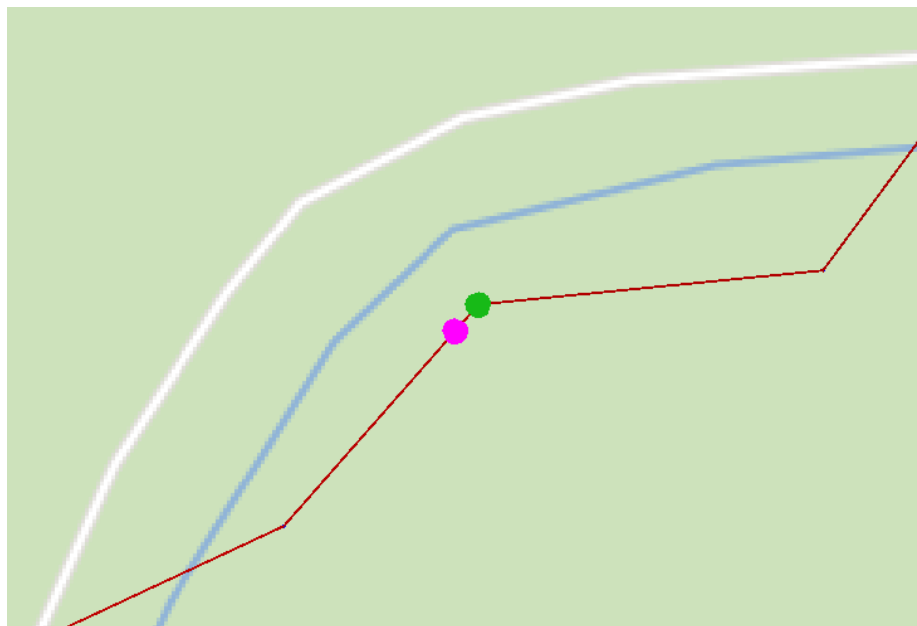
8.7 Synchronizace fotografií a tras

K synchronizaci fotografií a tras slouží třída `Sync` obsahující jedinou metodu `doSync()`, která provádí samotnou synchronizaci. Metoda pro své fungování potřebuje fotografie a GPS data ze záznamu GPX. Parametry této metody jsou obousměrný seznam objektů `Photos`, obousměrný seznam objektů `WayPoint` a dále objekt typu `TrackPanel`, který slouží k vykreslování přiřazené trasy a jejího mapového podkladu a uživatelské interakci, jehož popis se nachází v další kapitole.

Výsledkem běhu této metody je přiřazení dvou nejvhodnějších bodů z tras k dané fotografii, a to použitím přímo zeměpisných dat ze záznamu GPS, který se uloží do atributu `wayPoint` objektu `Photo`, a interpolovaný bod se uloží do atributu `wayPointInterpolated` stejného objektu.

Metoda tedy zjistí, mezi kterými dvěma sousedními body na trase leží fotografie porovnáním jejich časových razítek. Po nalezení těchto dvou bodů se zjistí, který z nich leží blíže k dané fotografii, a tento bod se přiřadí objektu `Photo` uložením do atributu `wayPoint`. Dále se vypočítá interpolovaný bod, který leží na úsečce spojující tyto dva nalezené body ve vzdálenosti závislé na časovém rozdílu fotografie a nalezených bodů, a přiřadí se k fotografii uložením do atributu `wayPointInterpolated`.

Poslední parametr obsahující objekt `TrackPanel` obsahuje proměnné a metody potřebné k výpočtu nových zeměpisných dat pro interpolovaný bod, jelikož interpolace probíhá použitím hodnot `x` a `y` dříve nalezených sousedních bodů místo zeměpisných souřadnic.



Obrázek 8.8: Oba typy souřadnic.
Zelený bod ze záznamu GPX, fialový je interpolovaný.

8.8 Vizualizace zeměpisných dat

O vizualizaci dat se stará třída `TrackPanel`, která pro tuto akci obsahuje veškeré potřebné metody, tudíž parametry jejího konstruktoru jsou pouze seznam bodů dané trasy `WayPoint` a této trase příslušný index. Tato třída dědí od třídy `javax.swing.JPanel` a k vizualizaci se využívá předdefinovaná metoda `paint()`, ve které proběhne vykreslení všech potřebných elementů:

- mapové podklady stažené třídou `MapTileDownloader`
- jednotlivé souřadnice z dat objektů `WayPoint` a spojení drah mezi nimi
- vyznačení `WayPointu` a interpolovaného `WayPointu` vybrané fotografie respektive všech fotografií při výběru této možnosti uživatelem v hlavním menu aplikace
- výpis zeměpisné šířky a délky pod kurzorem myši

Takto vytvořené plátno je plně interaktivní a umožňuje uživateli prozkoumávat (posun obsahu plátna táhnutím myši a změna měřítka rolováním kolečka na myši či odpovídající akce při použití dotekového displeje jako vstupní zařízení) trasu záznamu GPX a její blízké okolí na mapových podkladech, získávat informace o přiřazených fotografiích a jejich modifikování zadáním nových souřadnic do textového pole či výběrem souřadnic přímo z mapy pomocí kurzoru myši. Pro výběr souřadnice pomocí mapy jsou k dispozici tyto dva přepínatelné režimy:

- výběr nejbližšího bodu ze záznamu GPX od kurzoru myši
- výběr bodu přímo pod kurzorem myši

Takto vybrané body mají nejvyšší prioritu při pozdějším exportu metadat, jelikož byly vybrány přímo uživatelem a je zřejmé, že chce tuto změnu zachovat.

Pro optimalizaci vykreslování trasy s velkým počtem zaznamenaných bodů (v řádech tisíců) se využívá algoritmus Cohen-Sutherland⁶, který se stará o zjištění a zahození bodů a úseček mezi nimi takových, které jsou zcela mimo právě viditelnou oblast (například při přiblížení plátna) a zároveň zachovává úsečky, které protínají některý z rohů viditelné oblasti, ale jejich krajní body leží mimo tuto oblast.

Další optimalizace spočívá ve změně tvarů reprezentujících fotografie na plátně z ikony terče složeného ze soustředného malého kroužku a větší kružnice na terč složený z malého a většího čtverečku ve stejné poloze. Při testování bylo zjištěno, že použitím čtvercového terče při velkém množství bodů se několikanásobně zvýší výkon aplikace.

8.9 Mapové podklady a jejich stažení

Jak již bylo zmíněno v kapitole 8.3, aplikace používá mapové podklady OpenStreetMap, které jsou poskytovány jako dlaždice ve formátu PNG. K reprezentaci jednotlivých dlaždic slouží třída `MapTile`, která se stará o stažení a uložení obrázku PNG podle zadaných parametrů `zoom`, `x` a `y`, které reprezentují danou dlaždici. Třída má dále na starost výpočet pozice a rozměrů této dlaždice, které se použijí pro její zobrazení na přiřazeném `TrackPanelu`. Dále jsou zde převzaty metody pro výpočet hodnot `x` a `y` ze zadané zeměpisné souřadnice a požadovaného přiblížení určeného hodnotou `zoom`.

Jelikož třída `MapTile` slouží pouze jako rozhraní pro stažení požadované dlaždice a poskytuje o ní další informace, třída `MapTileDownloader` se stará o výpočet nejlepší úrovně přiblížení, a poté výpočet hodnot `x` a `y` pro všechny dlaždice, které jsou nutné ke stažení, aby byla pokryta celá plocha pod záznamem trasy a její blízké okolí.

Nejlepší hodnota přiblížení `zoom` je taková, která poskytuje dostatečnou míru detailů, ale také nestahuje zbytečně velké množství dlaždic, které by mohlo zahltit mapové servery a nebo i místní připojení. Proto se tato hodnota vyhodnotí tak, že se zjistí počet dlaždic pro úroveň 0 až 17 a vybere se ta, která obsahuje počet dlaždic nejbližší hodnotě 50 (při stejném počtu dlaždic ve více úrovních se vybere ta nejvyšší). Tímto způsobem budou trasy zabírající velkou plochu pokryty relativně detailním mapovým podkladem, ale zamezí se stahování velkého množství a pro trasy s malou plochou bude implicitně použita maximálně úroveň 17.

Po vyhodnocení hodnoty `zoom`, `x` a `y` se zahájí hromadně stahování dlaždic a okamžité vykreslení po dokončení stahování každé z nich. Pokud stažení není úspěšné, většinou to znamená zahlcenou síť poskytovatele dat. Testováním bylo zjištěno, že opakování stahování ve většině případů také selže a tím pádem dojde pouze k dalšímu zahlcení serverů. Proto nedochází k naplánování opětovných pokusů o stažení ze stejných zdrojů, takového zpomalení je většinou krátkodobé a po několika minutách je síť opět k dispozici. Pro zvýšení pravděpodobnosti úspěšného stažení mapových podkladů ale aplikace využívá více zdrojů:

- (a) <https://a.tile.openstreetmap.org>
- (b) <https://a.tile.openstreetmap.fr/osmfr>
- (c) <https://maps.wikimedia.org/osm-intl>

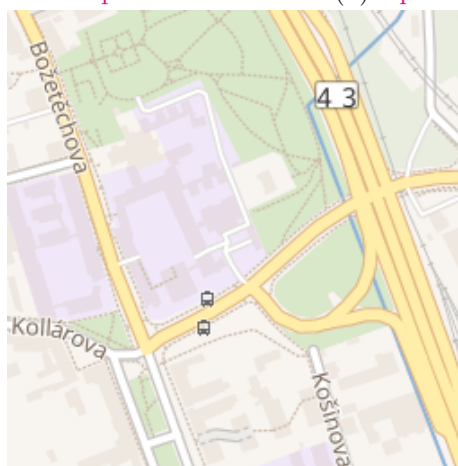
⁶https://wis.fit.vutbr.cz/FIT/st/course-files-st.php.cs?file=%2Fcourse%2FIZG-IT%2Ftexts%2Fizg_opora.pdf

Tyto zdroje poskytují stejné mapové podklady, ale používají odlišná barevná schémata, proto se pro stahování nepoužívá náhodného výběru pro rozložení zátěže, ale při neúspěchu se mapové podklady stahují ve výše uvedeném pořadí.



(a) OpenStreetMap

(b) OpenStreetMap FR



(c) OpenStreetMap Wikimedia

8.10 Zpracování dat ze záznamu ve formátu GPX

Třída GPXParser slouží k analýze a zpracování souboru typu GPX (konkrétně nejnovější verze 1.1), který je dokumentem typu XML. K implementaci byla využita volně dostupná dokumentace.

Tento parser neimplementuje veškerou funkcionalitu poskytovanou formátem GPX, ale pouze část potřebnou k běhu této aplikace. Tím je zejména zpracování zaznamenaných tras uložených elementem `trk`, obsahující segmenty tras `trkseg`, které nesou seřazený seznam zaznamenaných bodů `trkpt`. Každý z těchto bodů nese minimálně informaci o zeměpisné výšce a šířce pomocí atributů `lat`, respektive `lon` a další informace, mezi nimi i časové razítko doby záznamu, jsou uloženy pomocí podelementů.

Zpracování začíná načtením souboru GPX a uložením povinného atributu `creator` z kořenového elementu tohoto dokumentu, hodnota tohoto atributu poté slouží pro identifikaci zařízení při synchronizaci časů mezi použitými zařízeními. Poté je nalezen hlavní element

se jménem GPX, který obsahuje výše zmíněné podelementy `trk`. Tyto podelementy jsou uloženy do seznamu `Root`, který je atributem třídy `GPXParser` a dále při běhu programu je tento seznam využit k získání jednotlivých tras pomocí metody `getTracks()`.

Metoda `getTracks()` požaduje parametr `index` určující trasu ke zpracování. Návratovou hodnotou je seznam objektů typu `WayPoint`, které jsou vytvořené zpracováním podelementů `trkpt`. Ke každému z těchto seznamů je přiřazena záložka v uživatelském prostředí a tím pádem i `TrackPanel` sloužící pro vizualizaci této trasy.

Třída dále umí vytvořit trasu z jednotlivých bodů zaznamenaných pomocí podelementů `wpt`, které mají stejnou strukturu jako již popsany `trkpt`. Jelikož se ale nejedná o záznam trasy, při vykreslování nejsou tyto body spojeny.

Při implementaci byla třída testována pomocí autorem zaznamenaných GPX souborů z různých aplikací pro mobilní telefony, veřejně dostupnými ukázkovými soubory GPX a soubory z online generátorů. Ve výsledné podobě aplikace byly všechny soubory GPX bezproblémově zpracovány.

8.11 Panel pro vykreslování obrázků

Tato aplikace pracuje s fotografiemi, proto je nutné tyto obrázky uživateli vykreslit. K tomu slouží třída `ImagePanel` dědící z třídy `javax.swing.JPanel`. `ImagePanel` ke svému fungování potřebuje pouze obrázek, který se má vykreslit a zbylé informace se načtou z atributů obrázku či dopočítají.

Hlavní funkce tohoto panelu je tedy vykreslit zadaný obrázek, a to tak, že při jakékoliv velikosti tohoto panelu bude u obrázku vždy zachován správný poměr stran a nebude tedy nijak roztážený či jinak deformovaný. Dále se `ImagePanel` stará a vycentrování obrázku a o zabránění maximálního možného místa v rámci tohoto panelu. Pokud se u zadaného obrázku vyskytl problém při načítání jeho obsahu, vypíše se na tento panel zpráva o této skutečnosti.

Kapitola 9

Závěr

Cílem bakalářské práce bylo implementovat aplikaci pro doplnění geografických dat k daným fotografiím. Po provedení průzkumu trhu bylo zjištěno, že je zapotřebí implementovat aplikaci poskytující rozšířenou funkcionalitu oproti existujícím řešením, přičemž aplikace musí být multiplatformní, využívat co nejméně externích zdrojů, pokud možno volně dostupných, ale ustálených a být co nejjednodušší.

Aplikace je vytvořena programovacím jazykem Java, který umožňuje vysokou přenositelnost mezi platformami, dále používá pouze jednu externí knihovnu Apache Commons Imaging k zápisu metadat, jejímž cílem je také mimo jiné vysoká přenositelnost. Jelikož aplikace byla navržena pouze pro účely doplnění geografických dat k fotografiím, poskytuje proto větší funkcionalitu se zachováním důrazu na jednoduchost.

Původní plán podle zadání vůbec nepočítal s vizualizací dat, ale po průzkumu ostatních řešení bylo přidání alespoň základního diagramu trasy nutností. Aplikace podporovala pouze toto jednoduché zobrazení po většinu doby vývoje, až při jejím dokončování byla prozkoumána možnost využití volných mapových podkladů OpenStreetMap. Z tohoto důvodu je jejich implementace pouze statická, a proto je rozšíření této funkcionality navrženo v následujícím odstavci.

Budoucí rozšíření aplikace může být například vylepšení plátna pro zobrazování trasy a mapových podkladů, zejména vylepšení funkce pro změnu měřítka. Dále je možné rozšíření plátna o dynamické stahování mapových podkladů v závislosti na pozici a míře přiblížení plátna, místo statického stažení pouze úzkého okolí trasy s jednou úrovní detailu. Dále by bylo možné přidání čistě konzolového režimu pro možnost naprosto automatické synchronizace vytvořením skriptů.

Literatura

- [1] *Exchangeable image file format for digital still cameras: Exif Version 2.2*. [Online; navštíveno 05.05.2018].
URL <http://www.exif.org/Exif2-2.PDF>
- [2] *Global Positioning System*. [Online; navštíveno 22.03.2018].
URL https://en.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System
- [3] *GPX 1.1 Schema Documentation*. [Online; navštíveno 22.03.2018].
URL <http://www.topografix.com/GPX/1/1/>
- [4] *GPX: the GPS Exchange Format*. [Online; navštíveno 22.03.2018].
URL <http://www.topografix.com/gpx.asp>
- [5] *List of GPS satellites*. [Online; navštíveno 22.03.2018].
URL https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_GPS_satellites
- [6] *Metadata*. [Online; navštíveno 28.12.2017].
URL <https://en.wikipedia.org/wiki/Metadata>
- [7] *Netbeans*. [Online; navštíveno 05.05.2018].
URL <https://en.wikipedia.org/wiki/NetBeans>
- [8] *Slippy map tilenames*. [Online; navštíveno 05.05.2018].
URL https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Slippy_map_tilenames
- [9] *Swing (Java)*. [Online; navštíveno 05.05.2018].
URL [https://en.wikipedia.org/wiki/Swing_\(Java\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Swing_(Java))
- [10] *TIFF Tag Reference*. [Online; navštíveno 22.03.2018].
URL <https://www.awaresystems.be/imaging/tiff/tifftags.html>
- [11] *TIFF Tag Reference, Private IFD Tags*. [Online; navštíveno 22.03.2018].
URL <https://www.awaresystems.be/imaging/tiff/tifftags/privateifd.html>
- [12] *GPS Ground Segment*. Září 2014, [Online; navštíveno 05.05.2018].
URL http://www.navipedia.net/index.php/GPS_Ground_Segment
- [13] *Selective Availability*. Září 2016, [Online; navštíveno 05.05.2018].
URL <https://www.gps.gov/systems/gps/modernization/sa/>
- [14] *Space Segment*. Září 2016, [Online; navštíveno 05.05.2018].
URL <https://www.gps.gov/systems/gps/space/>

- [15] Israel, R.: *Mercator's Projection*. Leden 2003, [Online; navštíveno 05.05.2018].
URL <http://www.math.ubc.ca/~israel/m103/mercator/mercator.html>
- [16] Snášel, J.: *Už vím, jak pracuje navigační systém GPS*. Říjen 2005, [Online; navštíveno 22.03.2018].
URL <https://www.mobilmania.cz/clanky/uz-vim-jak-pracuje-navigacni-system-gps/sc-3-a-1111127>
- [17] Zogg, J.-M.: *Essentials of Satellite Navigation*. 2009, [Online; navštíveno 25.02.2018].
URL https://www.u-blox.com/sites/default/files/gps_compendiumgps-x-02007.pdf