

Univerzita Hradec Králové
Fakulta informatiky a managementu
Katedra informatiky a kvantitativních metod

Mobilní aplikace pro záznam polohy

Bakalářská práce

Autor: Martin Čechura
Studijní obor: Aplikovaná informatika

Vedoucí práce: doc. Ing. Filip Malý, Ph.D.

Hradec Králové

Duben 2024

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a s použitím uvedené literatury.

V Hradci Králové dne 22.4.2024

Martin Čechura

Poděkování:

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Filipu Malému, Ph.D. za metodické vedení práce a rady při tvorbě této práce.

Abstrakt

Tato bakalářská práce rozebírá základní principy fungování globálních satelitních polohových systémů GNSS (Global Navigation Satellite System) a popisuje jednotlivé dostupné systémy, jakými jsou GPS, GLONASS, Galileo a BeiDou. Dále je zde také popsána možnost určení polohy za pomoci Wi-Fi přístupových bodů. V rámci této bakalářské práce vznikla mobilní aplikace, za pomoci, které je možné zaznamenat jednotlivé Wi-Fi přístupové body a jejich polohu a následně je možné provést záznam polohy v čase, jak metodou signálů GNSS, tak za pomoci prohledávání aktuálně viditelných Wi-Fi přístupových bodů v dříve zaznamenaných.

Klíčová slova: GNSS, GPS, Galileo, Wi-Fi, mobilní aplikace

Abstract

Title: Mobile App for Recording Location

This bachelor thesis explores the basic principles of operation of Global Navigation Satellite Systems (GNSS) and describes the individual available systems, such as GPS, GLONASS, Galileo, and BeiDou. Furthermore, it also describes an alternative method for determining location using Wi-Fi access points. As part of this bachelor thesis, a mobile application was developed, which enables the recording of individual Wi-Fi access points and their locations. Subsequently, it is possible to record the location over time using both GNSS signal method and the method of searching currently visible Wi-Fi access points within the previously recorded point's locations.

Key words: GNSS, GPS, Galileo, Wi-Fi, mobile app

Obsah

1	Úvod.....	8
2	Globální satelitní polohové systémy.....	9
2.1	Architektura globálních satelitních polohových systémů.....	9
2.1.1	Vesmírný segment.....	9
2.1.2	Kontrolní segment.....	10
2.1.3	Uživatelský segment.....	10
2.2	Signály a polohování globálních satelitních polohových systémů.....	10
2.2.1	Dráha signálu.....	11
2.2.2	Trilaterace.....	12
2.3	Chyby globálních satelitních polohových systémů.....	14
2.3.1	Chyby satelitních hodin.....	15
2.3.2	Chyby orbit.....	15
2.3.3	Zpoždění v ionosféře.....	15
2.3.4	Zpoždění v troposféře.....	16
2.3.5	Vícecestné signály.....	16
2.4	Řešení chyb.....	16
2.4.1	Multifrekvence a multikonstelace.....	17
2.4.2	Přesnost GNSS.....	18
2.4.3	Diferenciální GNSS.....	18
2.4.4	Rozšiřující satelitní systémy.....	19
2.4.5	Kinematika v reálném čase.....	21
2.4.6	Přesné umístění bodu.....	23
2.4.7	Následné zpracování dat GNSS – Post-Processing.....	24
3	Jednotlivé systémy GNSS.....	25
3.1	GPS.....	25
3.1.1	Vývojové fáze.....	25

3.1.2	Signály	25
3.1.3	Služby GPS	26
3.1.4	Vesmírný segment	26
3.1.5	Kontrolní segment	28
3.2	GLONASS	29
3.2.1	Historie.....	29
3.2.2	Signály	30
3.2.3	Služby GLONASS.....	30
3.2.4	Vesmírný segment	31
3.2.5	Kontrolní systém	31
3.3	Galileo.....	32
3.3.1	Historie.....	32
3.3.2	Signály	33
3.3.3	Služby Galileo	33
3.3.4	Vesmírný segment	34
3.3.5	Kontrolní segment	35
3.4	BeiDou	35
3.4.1	Historie.....	35
3.4.2	Signály	36
3.4.3	Služby BeiDou	36
3.4.4	Vesmírný segment	36
3.4.5	Kontrolní segment	36
3.5	Shrnutí GNSS	37
4	Wi-Fi Polohové systémy	38
5	Mobilní aplikace pro záznam polohy.....	39
5.1	Části aplikace	39
5.1.1	Uživatelské rozhraní	39

5.1.2	Aktivity	39
5.1.3	Manažer určování služeb polohy.....	39
5.1.4	Manažer Wi-Fi	40
5.1.5	JSON.....	40
5.1.6	GPX	40
5.2	Třídy v rámci kódu mobilní aplikace.....	40
5.2.1	GeoCoordinates a WifiPoint	42
5.2.2	WifiScanner.....	42
5.2.3	LocationService.....	42
5.2.4	Services	43
5.2.5	Aktivity	45
6	Záznam polohy a Wi-Fi bodů.....	47
6.1	Záznam Wi-Fi přístupových bodů.....	47
6.2	Záznam za pomoci signálů GNSS a Wi-Fi bodů	47
7	Využití technologie určení polohy pomocí Wi-Fi bodů	49
8	Závěr	50
9	Použité zdroje:.....	51
10	Přílohy.....	53

1 Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá globálními polohovými satelitními systémy, popisuje základní principy jejich fungování a prvky, které tyto systémy tvoří, rozebírá chyby, které při určování polohy za pomoci signálů ze satelitů způsobují nepřesnosti a jsou způsobeny cestováním signálů zemskou atmosférou, kde má každá její vrstva jiné fyzikální vlastnosti a způsobuje tak například zpoždování signálů, případně jejich ohýbání. Dále popisuje konkrétní globální polohové systémy, které jsou dnes v provozu a dostupné běžným uživatelům, jakými jsou GPS, GLONASS, Galileo a BeiDou. Práce se také zabývá alternativní možností určení polohy, a to za pomoci sběru Wi-Fi přístupových bodů a jejich polohy a následným určením polohy v rámci prohledávání aktuálně viditelných bodů a jejich porovnání s dříve naskenovanými body.

Pro tuto bakalářskou práci vznikla mobilní aplikace pro operační systém Android, která je schopna jak záznamu Wi-Fi přístupových bodů a jejich, tak záznamu polohy v čase, která je určena pomocí signálů globálních polohových systémů i za pomoci viditelných Wi-Fi přístupových bodů. Aplikace slouží pro ověření možnosti určovat polohu alternativním způsobem a jeho možné použití tam, kde nejsou ideální podmínky pro určování polohy pomocí tradičních signálů GNSS.

2 Globální satelitní polohové systémy

Globální polohové systémy jsou dnes již naprosto běžnou součástí našich životů a nespolehá se na ně už jen armáda nebo námořní a letecká doprava, ale využívá je dnes na denní bázi naprostá většina běžných lidí. Ti v důsledku pokroku technologie nosí ve své kapse chytrý mobilní telefon, který je schopen komunikace v rámci několika globálních polohových satelitních systémů.

Označení GNSS (Global Navigation Satellite System – Globální satelitní polohový systém) je označení používané pro skupinu všech satelitních systémů, které jsou dnes v provozu a jejich satelity obíhají planetu Zemi. Za jejich pomoci je možné určit přesnou polohu a přesný čas. Mezi lidmi je dnes nejznámější systém s označením GPS (Global Positioning System – Globální polohový systém) provozovaný Spojenými státy americkými. Ten byl zprovozněn v pozdních 70. letech 20. století a je tvořen 27 satelity. Dalším takovým systémem je GLONASS (Global Orbiting Navigational Satellite System – Globální orbitální navigační satelitní systém) provozovaný Ruskou federací, využívá 24 satelitů, jeho vývoj započal v roce 1970 a do plného provozu se dostal v roce 2011. Evropská verze polohového systému zvaná Galileo je provozována Agenturou Evropské unie pro Kosmický program (dříve byl provozován GSA – Agenturou pro evropský globální navigační systém). První satelity byly vypuštěny v roce 2014 a vývoj stále trvá, plná verze je založena na 27 satelitech. Dalším takovým systémem je i BeiDou, za kterým stojí Čínská lidová republika. Jeho spuštění proběhlo v roce 2012 a byl dostupný jen na území Číny, jeho kompletní stav počítá se 35 funkčními satelity. [1]

2.1 Architektura globálních satelitních polohových systémů

Architektura GNSS stojí na třech základních segmentech. Těmi jsou vesmírný segment, kontrolní segment a uživatelský segment. [1]

2.1.1 Vesmírný segment

Vesmírný segment je tvořen satelity obíhající Zemi ve výšce přibližně 20 000 km nad zemským povrchem. Všechny systémy mají svou konkrétní satelitní konstelaci uzpůsobenou do takové orbity, aby vytvořila požadované pokrytí. Každý satelit vysílá signál, který obsahuje identifikační číslo satelitu a zároveň poskytuje informace o jeho času, orbitě a stavu. [1]

2.1.2 Kontrolní segment

Kontrolní segment je složen ze sítě propojených stanic, jakými jsou řídicí stanice, stanice odesílající data a monitorující stanice. V případě GPS je tento segment tvořen dvěma řídicími stanicemi (jedna hlavní a jedna záložní), čtyřmi daty odesílajícími stanicemi a 16 monitorovacími stanicemi, které jsou rozmístěny po celém světě. V každém takovém systému je hlavním úkolem řídicí stanice upravovat orbity jednotlivých satelitů a pracovat s jejich velice přesnými hodinami tak, aby se docílilo požadované přesnosti systému. Monitorovací stanice jsou rozmístěny skrze celou požadovanou oblast pokrytí, sledují signály a stavy jednotlivých satelitů. Tyto informace poskytují řídicí stanici, která je dále zpracovává a vytváří konkrétní korekce pro jednotlivé satelity, které následně skrze data odesílající stanice putují do jednotlivých satelitů. [1]

2.1.3 Uživatelský segment

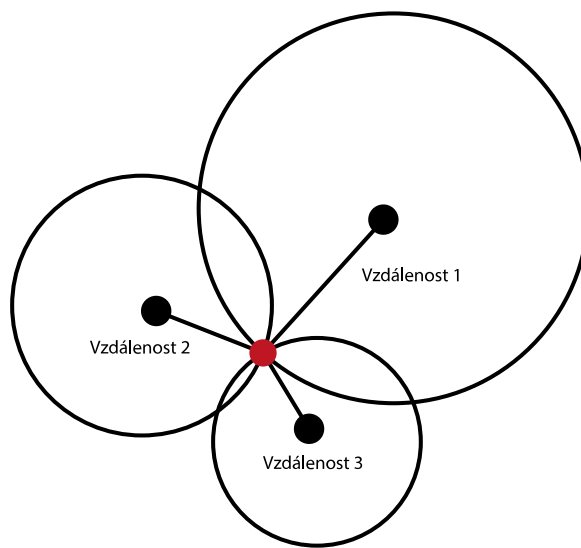
Segment pro uživatele je tvořen zařízeními schopnými příjmu signálu z konkrétních satelitů daného GNSS. Na základě těchto signálů je zařízení schopno určit polohu a čas. Tato zařízení mohou být od hodinek přes chytré mobilní telefony až po vysoce specializované přístroje na velice přesné určení polohy. [1]

2.2 Signály a polohování globálních satelitních polohových systémů

Signály GNSS jsou poměrně komplexní a pracují na frekvencích v pásmu okolo 1,5 GHz. Pro příklad, tyto frekvence jsou vyšší než u obyčejného FM rádia, ale stále jsou nižší než frekvence, které využívá mikrovlnná trouba. V momentě, kdy se radiové vlny dotknou zemského povrchu jsou, již velice slabé. Určování polohy probíhá za pomoci procesu trilaterace, ten využívá znalosti přesné vzdálenosti ke 3 bodům od dané konkrétní pozice. [1]

2.2.1 Dráha signálu

V určování polohy hraje významnou roli čas a jeho správná synchronizace. Pro určení polohy pomocí trilaterace je nutné znát vzdálenosti mezi satelity a přijímačem. Tyto vzdálenosti se vypočtou z časového rozdílu, který signál urazí od vysílače satelitu k přijímači. Radiová vlna putuje přibližně rychlostí světla, což znamená, že za jednu mikrosekundu urazí vzdálenost 300 m. V případě nepřesné synchronizace hodin satelitů může tedy i mírná odchylka hodin způsobit poměrně velké nepřesnosti při procesu určení polohy. [1]



Obrázek 1: Určení polohy pomocí 3 vzdáleností

Zdroj: Vlastní zpracování

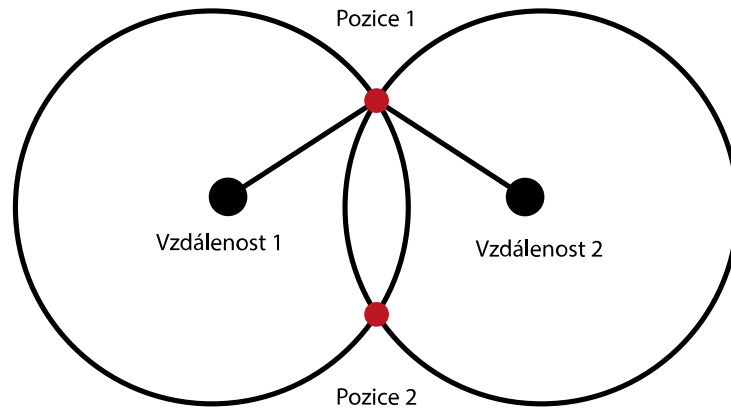
Minimální počet signálů, které jsou potřebné pro určení polohy jsou 4, je tedy potřebné, aby měl přijímač dostatečnou viditelnost na 4 satelity. Podmínky viditelnosti bývá obvykle zhoršena v husté zástavbě měst, což je další faktor, který může mít za následek způsobení nepřesnosti v určení polohy. Dalším problémem je také dráha, kterou signál urazí. Pro přesné určení polohy je potřebné znát vzdálenost přímé dráhy od satelitu k přijímači, to je ale vzhledem k fyzikálním vlastnostem zemské atmosféry problematické. Signál totiž může napřímo bez ohybů cestovat jen ve vakuu nebo v naprosto homogenním prostředí. Signály se tedy při průchodu zemskou atmosférou ohýbají, což způsobuje prodlužování jejich dráhy. Vzdálenost, kterou tedy vypočteme na základě informace získané ze satelitu, označujeme jako pseudovzdálenost. Vrstva zemské atmosféry, která dráhu signálu ovlivňuje nejvíce, se nazývá ionosféra.

Ta se nachází vzdálenosti 80-600 km nad zemským povrchem a je pro ni typické, že molekuly plynu jsou ultrafialovým slunečním zářením ionizovány, což uvolňuje elektrony, které následně interferují s radiovými signály a ovlivňují jejich kvalitu. Další vrstvou atmosféry, která způsobuje nepřesnosti je troposféra, ta se nachází v rozmezí 17-20 km nad zemským povrchem. V této vrstvě je dráha signálu ovlivňována lokální teplotou, tlakem a relativní vlhkostí. Pro výpočet vzdálenosti je následně potřebné tyto nepřesnosti uvažovat a chybu zohlednit ve výpočtu, což je v případě ionosféry relativně proveditelné, lze totiž vzhledem k vlastnostem této vrstvy poměrně přesně předpokládat chování signálu při jejím průchodu. V případě troposféry jsou ale vlivy ovlivňující dráhu signálu obtížně předvídatelné, a tedy korekce těchto chyb vyžaduje informace z dalších zdrojů. Dalším problémem, který může nastat v příjmu signálu, je odrazení se signálu například od budovy. Takový signál se poté může šířit vícecestně a přijímač tak může přijmout ten samý signál vícekrát a se zpožděním, kvůli tomu je nutné uvažovat na straně přijímače filtrování těchto signálů. [1]

Pro příjem signálu je důležitý správný výběr antény, ta slouží jako prostorový a frekvenční filtr. Při jejím výběru je nutné vzít v úvahu velikost, hmotnost, odolnost vůči vnějším vlivům a energetickou náročnost. Dalšími faktory jsou užívána šířka pásma a konstelace satelitů ve vybraném polohovém systému [1]

2.2.2 Trilaterace

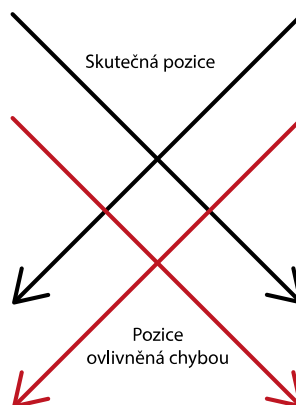
Pro výpočet vzdálenosti dráhy signálu se využívá rozdíl času, kdy byl signál vyslán ze satelitu a času, kdy dorazil k přijímači. Tento rozdíl se následně vynásobí rychlostí světla, která je 299 792 458 m/s, a tím je získána vzdálenost. Pro jednodušší vysvětlení procesu trilaterace lze použít příklad ve dvourozměrném prostoru. Jestliže je známa vzdálenost z určité pozice od dvou satelitů, lze říct, že poloha se nachází na jednom ze dvou průniků kružnic tvořených poloměry, z nichž každý tvoří právě vzdálenost od vybraného satelitu. [1]



Obrázek 2: Možné pozice ze 2 vzdáleností

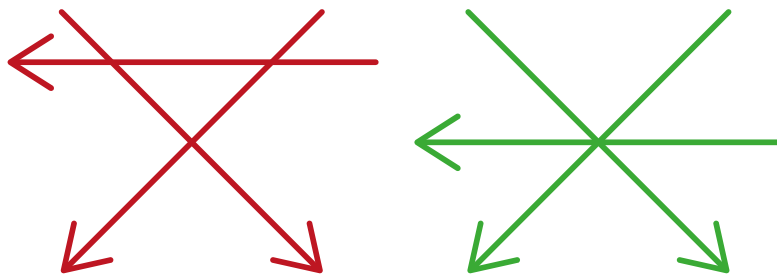
Zdroj: Vlastní zpracování

Pro zjištění, zdali je poloha na pozici 1, nebo na pozici 2, by mohla stačit informace ze třetího satelitu. Zde je ovšem potřeba vzít v úvahu přesnost hodin na přijímači, která je značně nižší nežli přesnost hodin na satelitech. Hodiny na přijímači jsou většinou založeny na technologii na bázi krystalů křemíku, které mají přesnost 0.0005 %. Pokud se tato hodnota vynásobí s rychlostí světla, je získána přesnost přibližně $\pm 1\,500$ metrů. V případě, že jsou k dispozici signály ze tří satelitů, je pravděpodobné, že se tyto tři signály neprotknou. Přijímač tedy musí počítat s touto chybou způsobenou nepřesností vlastních hodin a signály posouvá vpřed nebo zpožďuje tak, aby došlo k jejich protnutí. Obdobný způsob lze použít ve trojrozměrném prostoru, zde ale není k popisu vzdáleností použita kružnice, ale koule, a pro určení přesné polohy je potřebné signály ze 4 satelitů. [1]



Obrázek 3: Posuny signálů

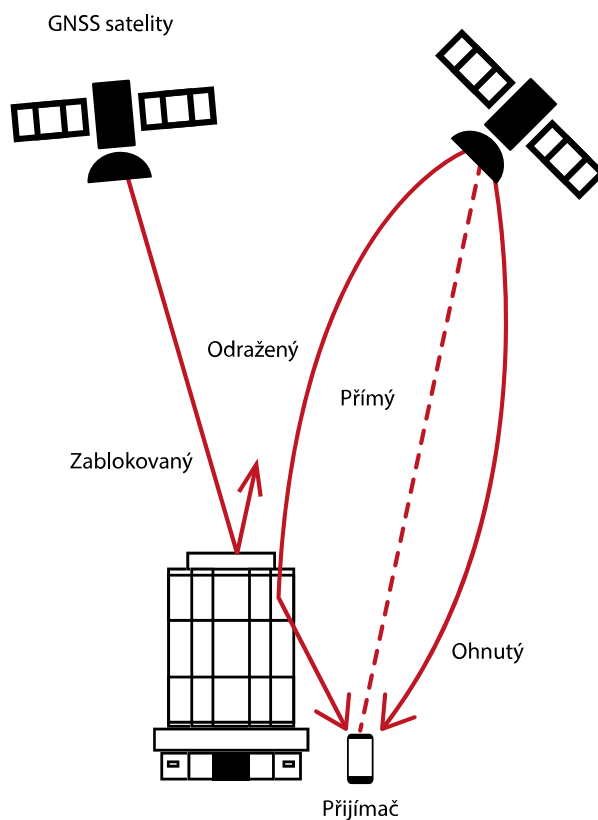
Zdroj: Vlastní zpracování



Obrázek 4: Demonstrace neprotnutí
Zdroj: Vlastní zpracování

2.3 Chyby globálních satelitních polohových systémů

Určování polohy pomocí globálních satelitních polohových systémů je ovlivněno řadou faktorů, které způsobují chyby při následném výpočtu určení polohy. V následujících odstavcích jsou popsány jednotlivé druhy chyb.



Obrázek 5: Prezentace ovlivnění signálů
Zdroj: Vlastní zpracování

2.3.1 Chyby satelitních hodin

Satelity používají vysoce přesné atomové hodiny, ovšem i ty se ale lehce zpožďují, a i jen malé odchylky těchto hodin způsobují velké odchylky ve výpočtech polohy, které na základě informací ze satelitů provedou přijímače. Pro příklad chyba 10 nanosekund způsobí ve výpočtu polohy chybu ± 3 m. Hodiny na satelitech jsou tedy monitorovány kontrolními stanicemi umístěnými na zemském povrchu, které mají ještě přesnější atomové hodiny než satelity. Za pomoci těchto informací získaných od kontrolními stanic jsou satelity schopny uživatelům poskytnout odhad rozmezí, o jaké jsou jejich hodiny posunuty vůči skutečnému času. Typická hodnota těchto odchylek způsobuje nepřesnosti v určení polohy v rozmezí ± 2 m. Aby byl přijímač schopen určit polohu přesněji, je potřeba tuto chybu kompenzovat. Jednou metodou, jak toho docílit, je získání informace o satelitních hodinách ze systému SBAS (Spaced Based Augmentation System – Rozšiřující podpůrný vesmírný systém) nebo systému PPP (Precise Point Positioning – Přesné umístění bodu). Tato informace obsahuje korekce chyb, které tyto systémy vypočítají a poskytnou přijímači. [1]

2.3.2 Chyby orbit

Satelity každého GNSS se pohybují po známých a velice přesných orbitách, ale i tyto orbity mají drobné odchylky, které stejně jako odchylky v hodinách, způsobují poměrně velké chyby ve výpočtech polohy. Kontrolní stanice tak neustále monitorují orbity, po kterých se satelity pohybují, a v případě, že zjistí odchýlení od orbity, posílají satelitu korekční data. Jedním z možných způsobů, jak orbitu satelitu korigovat je stažení přesné informace o polohách satelitů ze systémů SBAS či PPP a provedení korekcí kontrolní stanicí. I tato kontrola ale není úplně přesná, a tak i přes tuto kontrolu zde zůstávají malé odchylky, které se projeví v určité nepřesnosti o velikosti přibližně $\pm 2,5$ m ve výpočtech polohy. [1]

2.3.3 Zpoždění v ionosféře

Ionosféra je vrstva zemské atmosféry ve výšce 80–600 km na zemském povrchem. Tato vrstva obsahuje elektricky nabitě částice – ionty – ty zpožďují signály vysílané satelity a způsobují chybu ve výpočtu polohy přibližně ± 5 m, ta může být i vyšší, pokud je zvýšená aktivita v ionosféře. Toto zpoždění je přímo ovlivněno slunečním zářením, ročním obdobím, denní hodinou a daným místem na Zemi. Všechny tyto podmínky velice

stěžují tvorbu predikčních modelů pro zvýšení přesnosti výpočtu polohy. Zpoždění je také ovlivněno druhem radiového signálu, který touto vrstvou prochází. Toto zpoždění může být částečně eliminováno v případě, že přijímač je schopen přijímat více než jeden druh signál a je schopen tyto signály porovnat a chybu eliminovat. Další možností, jak tyto chyby eliminovat, je korekce monitorovacími stanicemi, které mají v daném místě podobné zpoždění jako přijímač, a jsou tak schopny poskytnout informace pro korekci. [1]

2.3.4 Zpoždění v troposféře

Nejblíže k zemského povrchu je troposféra a zpoždění v této vrstvě způsobují aktuální podmínky jako je vlhkost vzduchu, teplota a atmosférický tlak. Chyba určení polohy způsobená v troposféře se pohybuje kolem $\pm 0,5$ m. Tyto chyby mohou být kompenzovány za pomoci monitorovacích stanic, případně predikčními modely. [1]

2.3.5 Vícecestné signály

Vícecestné signály se objevují v případě, že se signál odrazí od objektu, jakým může být například budova. Takto odražený signál putuje k přijímači delší dráhou, přijímač jej obdrží později, případně i vícekrát, což může způsobit nepřesnost ve výpočtu polohy. Jedním z nejjednodušších způsobů, jak tuto chybu eliminovat, je umístit anténu přijímače co nejdále od povrchů, které mohou signály odrážet. Pokud to není možné, je nutné tyto vícecestné signály filtrovat. Signály s dlouhým zpožděním je anténa většinou schopna odfiltrovat poměrně jednoduše. Platí zde pravidlo, že čím lepší a dražší anténa je, tím lépe je schopna s těmito signály pracovat. [1]

2.4 Řešení chyb

Schopnost přijímače řešit vstupní chyby přímo ovlivňuje jeho výkonnost, výrobci tuto schopnost mohou ošetřit jak po stránce hardwarové, tak i po stránce softwarové. Čím lépe je přijímač schopen vstupní chyby korigovat, tím lepší je stupeň přesnosti, se kterou určí polohu. Metody, které je vhodné zvolit, závisí vždy na konkrétním případě užití, a lze tedy obecně říci, že metody pro přijímač obvyčejného uživatele, který určuje svou polohu za pomoci chytrého mobilního telefonu, budou jiné nežli metody využitě v autonomní letecké dopravě. Je zde důležité vždy zvážit určité kompromisy, při kterých

je potřeba brát v úvahu požadavky na přesnost a celkovou složitost daného systému, dostupnost řešení, spolehlivosti a finančních možnosti zřizovatele. [1]

Pro řešení chyb můžeme volit ze tří oblastí dostupných technik. První takovou metodou je zprůměrování opakovaných pozorování, tato metoda je ale nejméně přesná. Druhou metodou je modelování jevu, který chybovost způsobuje, a návrh predikčního modelu pro odstranění chybných hodnot. Třetí možností je rozdílová korekce za pomoci DGNS (Differential Global Navigation Satellite System – Rozdílový globální satelitní navigační systém). [1]

2.4.1 Multifrekvence a multikonstelace

Multifrekvence a multikonstelace jsou při odstraňování chyb naprosto zásadní. Schopnost přijímače GNSS zpracovávat více než jednu frekvenci z více konstelací je pro výpočet polohy s minimalizací chyb prakticky nezbytná. [1]

Multifrekvence

Přijímání více frekvencí přijímačem je jeden z neúčinnějších způsobů, jak minimalizovat chybu ve výpočtu polohy vznikající v ionosféře. Tato chyba je přímo ovlivněna velikostí frekvence signálu, a tedy každý typ signálů GNSS je ovlivněn jinak. Obdrželi-li přijímač dva druhy signálů, kde má každý jinou frekvenci, ze stejného satelitu, je schopen na základě jejich typu určit, jak byly ovlivněny v ionosféře, a ve výpočtu za pomoci této znalosti korigovat vzniklou chybu. [1]

Multikonstelace

Moderní přijímače jsou schopny přijímat signál z více systémů GNSS, jako jsou dnes GPS, GLONASS, BeiDou a Galileo. Tato schopnost umožňuje přijímači viditelnost na více satelitů než v případě, kdy by byl schopen přijímat signál pouze z jednoho systému. Přijímač tak tedy může získat signály i v kratším časovém úseku a je schopen určit polohu s vyšší přesností. Také je sníženo omezení ve viditelnosti na satelity konkrétního GNSS kvůli překážkám. Příjem z více systémů tak zajišťuje i redundanci, a přijímač má tak zajištěnu schopnost určit polohu v případě nepříznivých vlivů okolí na konkrétní systém GNSS či výpadku daného systému. V případě, že přijímač přijímá signály pro příklad pouze ze systému GPS, je nutné, aby měl zajištěn příjem signálů

alespoň ze čtyř satelitů, jestliže ale využívá multikonstelace je nutný signál z pěti satelitů, kdy minimálně jeden z těchto satelitů musí být z jiného systému GNSS, aby přijímač byl schopen určit časový rozdíl mezi danými konstelacemi [1]

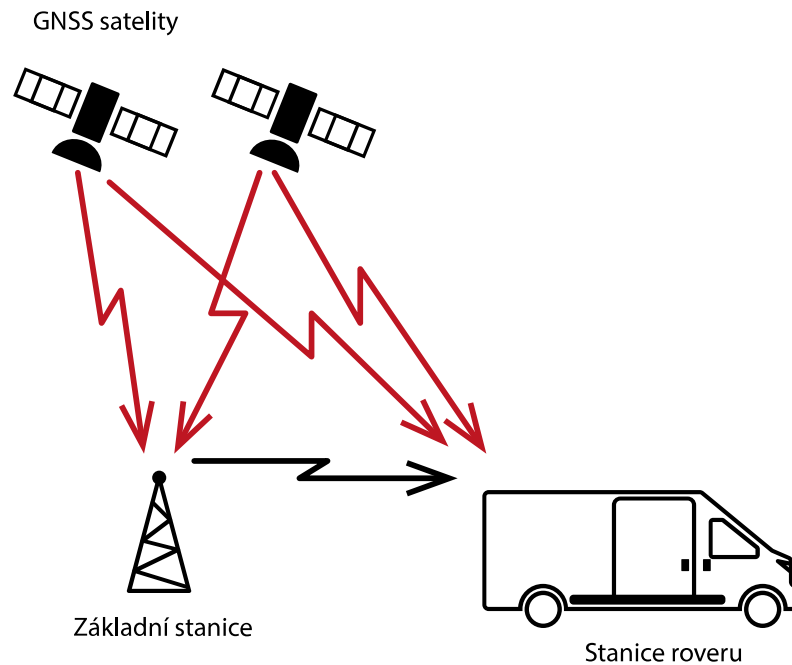
2.4.2 Přesnost GNSS

Technika určení polohy za pomoci signálů z počtu alespoň 4 satelitů je založená na kódech, kdy přijímač využívá pseudonáhodných kódů, což mu umožňuje přesnost určení polohy v řádu několika metrů. Tato přesnost je většinou naprosto dostačující pro použití většiny lidí, ale můžeme nalézt obory, kde se vyžaduje přesnost vyšší. Takovým oborem je například geodézie a pro přesnější určení polohy byly vyvinuty metody jako RTK (Real-Time Kinematics – Kinematika v reálném čase) a PPP (Precise Point Positioning – Přesné umístění bodu). Obě tyto metody umožňují eliminovat chyby v nosné fázi, a i když každá z těchto metod volí jiné techniky, mají tyto společné znaky: odhady polohy jsou založeny na pseudoposunu, zmírnění chyb v určování polohy probíhá za pomoci relativního určení polohy či využití korekčních dat, získávání signálů z více satelitních systémů, tak aby byla co nejlépe eliminována odchylka. [1]

2.4.3 Diferenciální GNSS

Diferenciální technika určení polohy je jednou z běžně používaných technik pro zvýšení přesnosti určení polohy, využívá znalosti přesně určené polohy přijímače GNSS konvenčními měřičskými technikami označovaného jako základní stanice. Ta následně zjistí vzdálenosti k satelitům, na které má výhled, a za pomoci techniky získání kódu a polohy satelitu z přesně známých efemerid oběžné dráhy a času satelitů. Základní stanice následně porovná zjištěnou polohu s vypočtenou polohou získanou z dosažitelných satelitů. Rozdíly v těchto polohách mohou být způsobeny odchylkou satelitů od orbit a nesynchronizovanými hodinami satelitů, ale v naprosté většině případů jsou tyto rozdíly způsobeny atmosférickým zpožděním. Základní stanice pošle zjištěnou chybu ostatním přijímačům (roverům) a ty použijí tuto chybu ke korekci výpočtu polohy. Diferenciální korekce je možná pouze pokud je zajištěna datová komunikace mezi základnou a rovery. Pro korekci v reálném čase je potřeba, aby měla základní stanice i rovery výhled alespoň na 4 satelity. Absolutní přesnost určení polohy roveru je pak přímo závislá na absolutní přesnosti určení polohy základové stanice. Satelity GNSS obíhají Zemi vysoko nad povrchem a dráhy signálu mířící k základovým stanicím

i roverům, tak putují podobnými atmosférickými podmínkami, díky čemuž je korekce poměrně přesná, i pokud je od sebe základová stanice a rover vzdálena několik desítek kilometrů. [1]



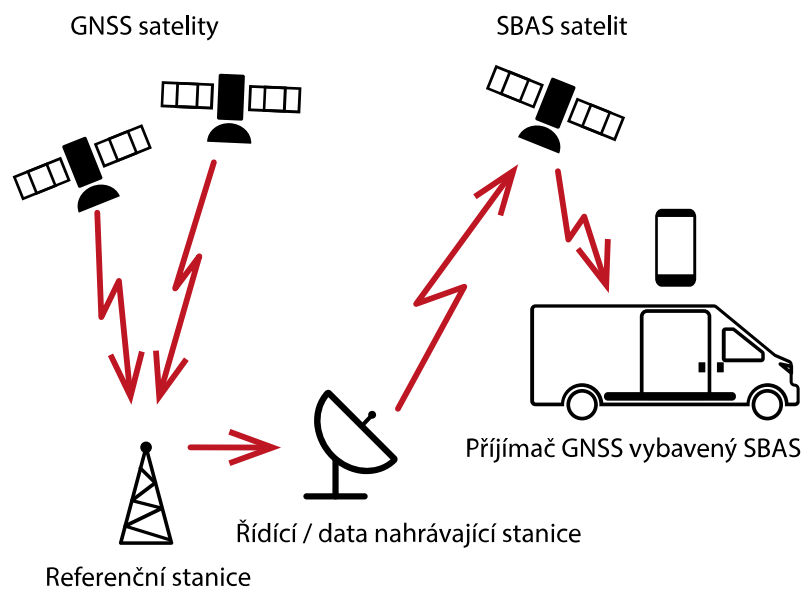
Obrázek 6: Diferenciální GNSS

Zdroj: Vlastní zpracování

2.4.4 Rozšiřující satelitní systémy

Tam, kde není možné použít diferenciální techniky nebo jsou rovery rozprostřeny na příliš velké ploše, použijme SBAS (Satellite-based Augmentation Systems – Rozšiřující satelitní systémy). To jsou systémy využívající geosynchronní satelitní systémy a poskytující služby pro zlepšení přesnosti, integrity a dostupnosti základních globálních polohových systémů. Přesnost je zvyšována za pomoci přenosu široce plošných korekčních dat eliminujících chybu způsobenou dosahem globálních polohových systémů. Integrity je zvyšována schopností rychlého zjištění chyby signálu vysílaného ze satelitu vybraného GNSS a vyslání výstrahy přijímačům s informací o tom, že signál je chybný a neměl by být sledován. Dostupnost základních signálu může být díky vysílání signálu ze satelitů SBAS zlepšena. Systémy SBAS obsahují referenční stanice, řídicí stanice, data nahrávající stanice a geosynchronní satelity. Referenční

stanice jsou rozmístěny po celé oblasti, kterou SBAS obsluhuje, přijímají signál ze satelitů GNSS a poskytují ho řídicím stanicím, které za pomoci znalosti přesné polohy referenčních stanic vypočítají široko plošné korekce. Korekce následně putují za pomoci data nahrávajících stanic k satelitům SBAS, které je následně poskytují přijímačům v obsluhované oblasti, a ty jsou následně schopny eliminovat chybu ve výpočtu polohy. [1]



Obrázek 7: Rozšiřující satelitní systémy
Zdroj: Vlastní zpracování

Širokoplošný rozšiřující systém

Korekční systém označovaný WAAS (Wide Area Augmentation System – Širokoplošný rozšiřující systém) je užívaný pro systém GPS a byl vyvinut Federálním úřadem pro letectví USA. Poskytuje korekci a certifikovanou úroveň integrity pro letecký průmysl – je využíván pro přesné navedení letadla na letiště. Zároveň je k němu umožněn bezplatný přístup civilním uživatelům na území Severní Ameriky. Řídící stanice WMS (Wide Area Master Station – Širokoplošná řídicí stanice) obdrží informace od referenčních stanic WRS (Wide Area Reference Stations – Širokoplošné referenční stanice) rozmístěných po Spojených státech amerických. Řídící stanice vypočítá diferenční korekci a nahraje ji na satelity WAAS. Dále poskytuje korekci pro ionosférické

zpoždění, časový posun satelitů a odchylku od jejich orbit, což umožňuje přijímači tyto korekce aplikovat samostatně. WAAS funguje na stejných frekvencích jako GPS, a tedy přijímači stačí jedna anténa. [1]

Překryvný systém evropské geostacionární služby

Evropský systém pro korekci označený EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service – Překryvný systém evropské geostacionární služby) byl vyvinut Evropskou kosmickou agenturou ESA (European Space Agency) ve spolupráci s Evropskou komisí EC (European Commission) a Evropskou organizací pro bezpečnost leteckého provozu EUROCONTROL (Organisation for the Safety of Air Navigation). Tento systém byl prvním evropským vstupem do globálních polohových systémů a jeho úkolem je zlepšit přesnost v určování polohy na území Evropy za pomoci signálů ze systému GPS. EGNOS poskytuje korekční data široké veřejnosti a je certifikovaný SoL (Safety of Life – Bezpečnost života) a jeho nasazení je tedy všude tam, kde by mohl být ohrožen lidský život zhoršeným výkonem základního GPS, tedy v námořnictví, letectví a dopravě. [1]

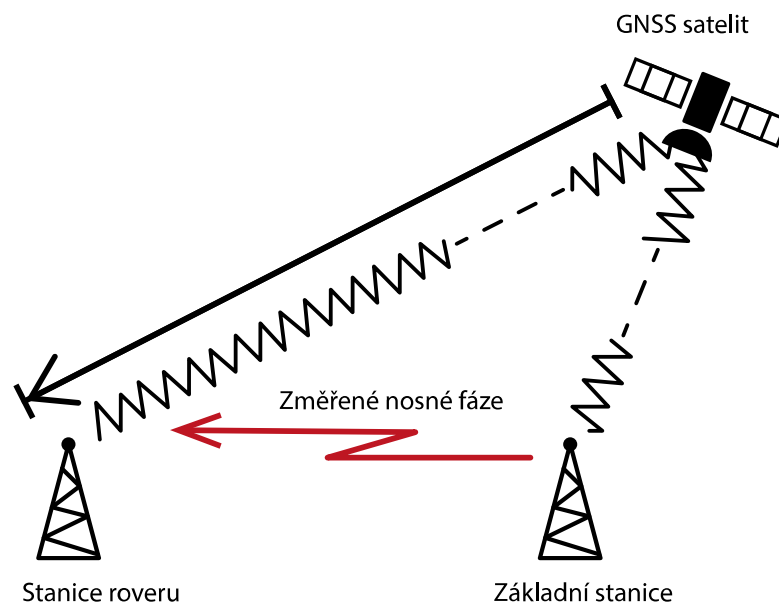
Další rozšiřující systémy

Na území Japonska jsou využity dva Multifunkční transportní satelity MTSAT (Multi-functional Transport Satellites) a síť pozemních stanic, které rozšiřují základní systém GPS. V Indii je instalován GAGAN (GPS-Aided GEO Augmented Navigation systém – Pomocný GPS geografický rozšiřující navigační systém) poskytující leteckou navigaci nad indickým vzdušným prostorem. Využívá tři geostacionárních satelitů, patnácti referenčních stanic rozmístěných skrze území Indie, tři nahrávající stanice a dvě řídicí stanice. Je zde také zajištěna kompatibilita ostatními systémy SBAS, jako je WAAS, EGNOS a MSAS. Systém pro diferenční korekci a monitorování SDCM (System for Differential Corrections and Monitoring) je provozován Ruskou federativní republikou pro zlepšení přesnosti systémů GLONASS a GPS na území Ruska a zároveň poskytuje korekci PPP (Precise Point Positioning – Přesné umístění bodu). [1]

2.4.5 Kinematika v reálném čase

V odvětví, kde je vyžadována vyšší přesnost, než kterou lze dosáhnout pouze pomocí techniky získávání signálů ze satelitů, použijeme Kinematiku v reálném

čase RTK (Real-Time Kinematic). Ta na základní úrovni funguje tak, že určí rozsah vypočtený na základě počtu nosných cyklů mezi satelity a rover stanicemi a vynásobí je vlnovou délkou. Takto vypočítané vzdálenosti jsou stále ovlivněny chybami, jako je nesynchronní čas satelitů, odchylka od orbit, ionosférické a troposférické zpoždění. Pro jejich eliminaci je tedy nutné měření přenést ze základní stanice do stanic roverů. Proces zvaný „řešení nejednoznačnosti“ je nutný ke zjištění počtu celých cyklů. Jedná se o poměrně komplexní proces, ale i přesto jsou vysoce přesné přijímače GNSS schopny za jeho pomoci zpracovat tyto nejednoznačnosti prakticky okamžitě. Stanice rovery určují svou polohu pomocí algoritmů, které mají zahrnuty řešení jak nejednoznačnosti, tak i diferenciální korekci. Přesnost jejich výpočtů je ale ovlivněna vzdáleností od základní stanice a přesností diferenciální korekce. Stejně tak je nutné pro kvalitu RTK prostředí, ve kterém je nasazena. Síť RTK je založena na několika široce rozložených stálých stanicích, ty předávají údaje o poloze do centrálních zpracovatelských stanic. Dále centrální stanice zpracovávají údaje o poloze uživatelských terminálů RTK a nazpět jim poskytují opravené informace o poloze, to umožňuje snížit počet základních stanic. Komunikace mezi stanicemi je možná za pomoci mobilních radiových vln, případně jiné radiové komunikace. [1]

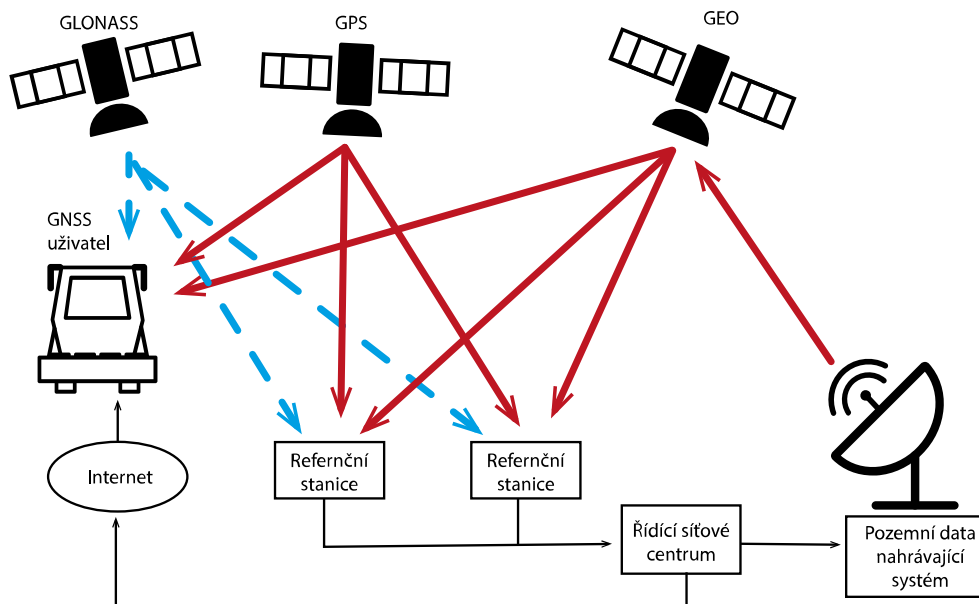


Obrázek 8: Kinematika v reálném čase

Zdroj: Vlastní zpracování

2.4.6 Přesné umístění bodu

Přesné umístění bodu je technika, která odstraňuje nebo modeluje systémovou chybu GNSS systému tak, aby byla schopna určit polohu s vysokou přesností z jednoho přijímače. Je přímo závislá na hodinách satelitů a korekcí jejich orbit, které poskytuje síť globálních referenčních stanic. Tyto korekce jsou koncovým uživatelům doručeny za pomoci satelitů, případně pomocí internetu. Umožňují tak korekce s přesností na decimetry, případně i vyšší, a to bez potřeby základních stanic. Tato metoda je ovšem poměrně časově náročná a než je schopna dosáhnout takové míry přesnosti, je nutné, aby se vypořádala se všemi místními odchylkami, které jsou způsobeny atmosférickými podmínkami, vícecestným prostředím či odkloněním satelitů od orbit. Stejně jako systém SBAS poskytuje PPP korekce přijímačům, aby byla zvýšena přesnost při určení polohy. Systémy PPP mají typicky vyšší přesnost korekce, na druhou stranu ale nejsou bezplatné a za poskytnutí korekcí je vybírán poplatek. Jejich výhodou je také ve schopnosti poskytnout korekci celosvětově naráz od systému SBAS, který funguje jen na určitém území. [1]



Obrázek 9: Přesné umístění bodu

Zdroj: Vlastní zpracování

2.4.7 Následné zpracování dat GNSS – Post-Processing

Pro aplikace, kde není potřebná korekce polohy v reálném čase, jsou zaznamenává surová data ze satelitů pro pozdější zpracování. Je zde tedy výrazně nižší požadavek na hardwarové vybavení. Příkladem takové aplikace je vzdušný průzkum, kde při následném zpracování dat je možné použít data ze základních stanic daných GNSS i zpětně. V případě, že jsou použita data z více stanic různých GNSS, je tím zvýšena přesnost korekce. Tato data mohou být volně stažena ze základových stanic až v době zpracování a odpadá tak potřeba zajišťovat vlastní základní stanice. Další možností je data ze základních stanic nepoužívat a použít techniku PPP, která využívá přesná data hodin a efemerid satelitů. Metoda post-processingu umožňuje velkou flexibilitu při zpracování dat a její provedení je možné provést úměrně vzhledem k požadavkům dané aplikace. [1]

3 Jednotlivé systémy GNSS

Dnes jsou globálně dostupné 4 konkrétní systémy GNSS, kterými jsou GPS, GLONASS, Galileo a BeiDou. V následujících kapitolách jsou tyto systémy jednotlivě popsány.

3.1 GPS

GPS (Global Positioning System – Globální polohový systém) je první globální polohový satelitní systém provozovaný Spojenými státy americkými. Jeho vývoj započal na začátku osmdesátých let 20. století a za plně funkční byl prohlášen v roce 1995. Je založen na 24 satelitech obíhajících ve střední oběžné dráze Země. [2]

3.1.1 Vývojové fáze

Z technologického pohledu dnes můžeme systém GPS označit za zastaralý. První fáze vývoje sahají do roku 1973 s tím, že první testovací satelit byl vypuštěn o 5 let později v roce 1978. Následně trvalo dalších 11 let, než byl systém připravený pro vypuštění prvního satelitu vhodného pro plný provoz. V průběhu vývoje také byly položeny základy pro dvojité využití a odklonilo se od původního plánu, který počítal pouze s vojenským využitím, ale byl umožněn provoz i pro civilní celosvětové využití systému. [3]

Pro systém GPS existují dvě aplikační fáze, první je označována jako IOC (Initial Operational Capability – Počáteční operační schopnost) a druhá je označována jako FOC (Full Operational Capability – Plná operační schopnost). Počáteční fáze bylo dosaženo v červenci roku 1993, kdy bylo v provozu 24 satelitů, oficiální vyhlášení proběhlo 8. prosince 1993 Ministerstvem obrany Spojených států amerických. Plná operační schopnost byla úspěšně nasazena v březnu roku 1994, oficiálně vyhlášení proběhlo po sérii testů ověřujících plnou funkčnost ve vojenském režimu 17. července 1995. [3]

3.1.2 Signály

Při plném spuštění systému GPS v roce 1995 byly v provozu 4 signály L1 – L4. L1 a L2 byly použity pro určování polohy a signály L3 a L4 sloužily pro Jaderný detekční systém NDS (Nuclear Detection System) a Analyzační balíček jaderného detekčního systému NAP (NDS Analysis Package). Postupně rostoucí požadavky na přesnost a vznik konkurenčního systému GLONASS vedl k modernizaci, která přinesla vylepšení

dosavadních signálů a nový signál L5. Signál L1 funguje na frekvenci 1 575,42 MHz, L2 má frekvenci 1 227,60 MHz a L5 přinesl frekvenci 1 176,45 MHz. [3]

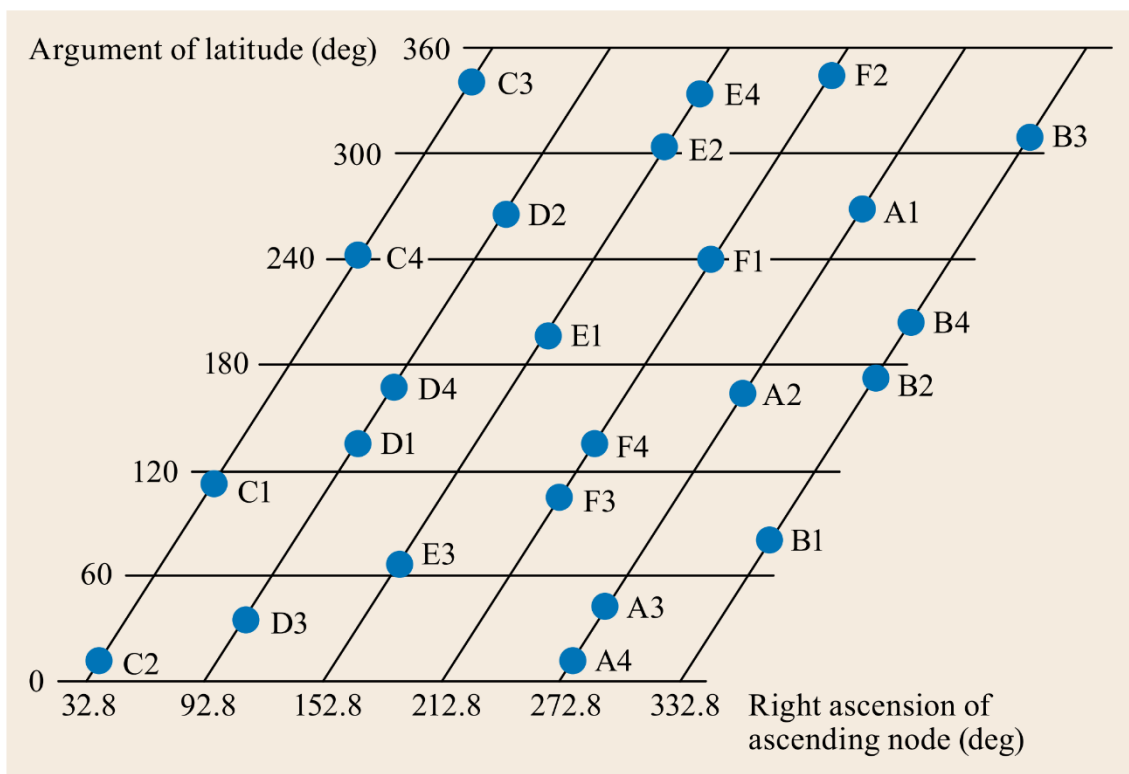
3.1.3 Služby GPS

Určení polohy a času probíhá v systému GPS za pomoci dvou služeb. První je SPS (Standar Positioning Service – Standardní polohová služba) s přístupem pro civilní uživatele a druhým je PPS (Precise Positioning Service – Přesná polohová služba) vyžadující autorizaci. Běh v režimu SPS může být řízen a ovlivňován selektivní dostupností a proti falešným opatřením tak, aby civilní uživatelé neměli plný přístup k přesnosti systému na vojenské úrovni. Klíčem k přesnosti systému jsou atomové hodiny, které systém řídí. V satelitech jsou tyto hodiny rubidiové nebo cesiové. Hodiny produkují základní frekvenci 10,23 MHz, z této frekvence jsou odvozeny délky dvou signálů – nosných vln, L1 a L2. Ty jsou vygenerovány násobením základní frekvence hodnotami 154 a 120, čímž je získána frekvence $L1 = 1\,575,42$ MHz a frekvence $L2 = 1\,227,60$ MHz. Díky těmto dvěma frekvencím je přijímač schopen eliminovat chyby způsobené cestováním signálů v ionosféře. Pseudovzdálenosti jsou odvozeny z doby, kterou putují signály od každého satelitu k přijímači, používají se dva pseudonáhodné kódy, které se překrývají přes obě nosné vlny. Prvním kódem je kód C/A (Coarse/Aquisition – hrubý/akvizovaný), který je k dispozici pro civilní použití a jeho délka je přibližně 300 metrů. Tento kód je modulován pouze na signálu L1 a záměrně vynechán na signálu L2, čímž je záměrně snížena přesnost systému pro civilní uživatele. Druhým kódem je P (Precise – přesný) užívaný ve vojenském nasazení, jeho délka je přibližně 30 metrů a je modulován na obou signálech, tedy L1 i L2. Tento kód je šifrován, aby byl dostupný pouze autorizovaným uživatelům. [3]

3.1.4 Vesmírný segment

Konstelace GPS je tvořena 24 satelity obíhajícími v kruhových oběžných drahách s poloměrem 26 559 km. Satelity jsou oproti rovníkové rovině nakloněny o 55° . V každé ze šesti oběžných rovin jsou 4 satelity rovnoměrně rozmístěné s ohledem na jejich orientaci vůči ose otáčení Země. Každá oběžná rovina je označena za pomoci písmen

A – F. Jmenovité Jednotlivá umístění satelitů ve slotech je označováno za pomoci kombinace písmen a číslic, tedy první slot pro satelit v rovině A nese označení A1. V každé oběžné rovině jsou 4 sloty rozloženy asymetricky. Tím je zajištěna odolnost systému vůči poruchám satelitů. Výška oběžné dráhy byla zvolena již v rané fázi testování systému s ohledem na možnost systém testovat jen s částečnou konstelací satelitů. Výška ovlivňuje oběžnou dobu na polovinu hvězdného dne – přibližně tedy 11 h 58 min, což znamená, že se oběžná dráha ve jednom dni opakuje. To je výhodné pro určité aplikace GPS, na druhou stranu to přináší problém s rezonančními silami působícími na každý satelit v důsledku nerovnoměrného gravitačního pole Země. To vytváří zvýšené požadavky na kontrolní segment a následné úpravy orbit satelitů. Současný návrh je také ovlivněn historickými omezením, z nichž již je ale dnes většina překonána. V posledních letech byla konstelace rozšířena na 31 satelitů, 3 satelity byly umístěny do rozšířitelných slotů B1, D2 a F2, ostatní satelity byly umístěny poblíž satelitů, u nichž se přepokládá, že budou v nejbližší době potřebovat výměnu. Do současné doby bylo vypuštěno již 67 satelitů. [2]

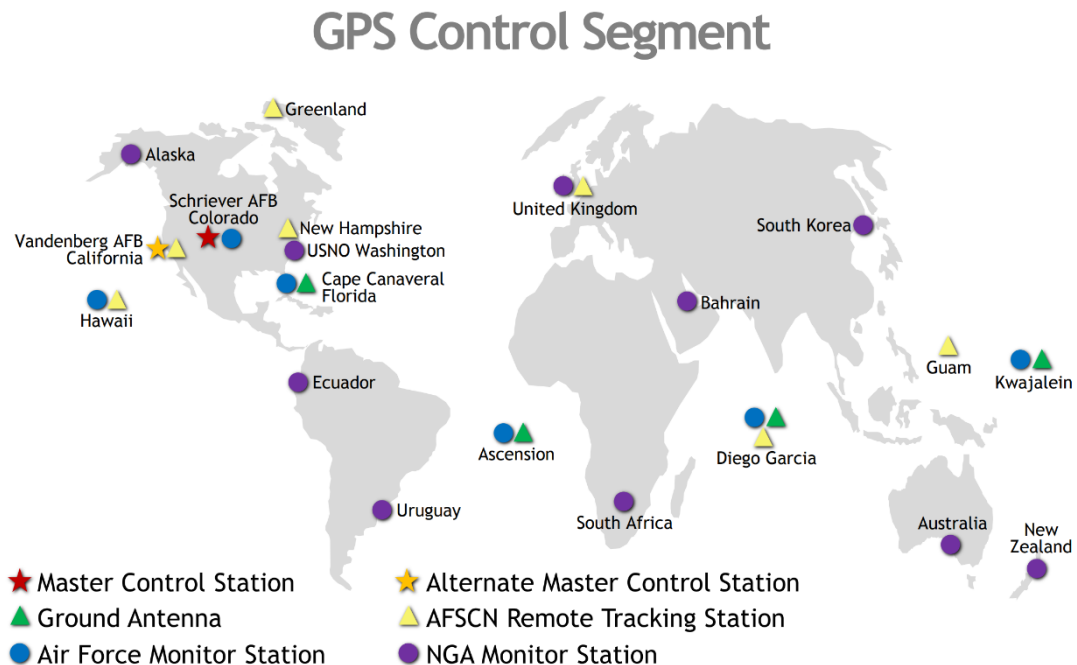


Obrázek 10: Nominální konstelace GPS 1. 7. 1993

Zdroj: [2, s.198]

3.1.5 Kontrolní segment

Satelity systému GPS jsou monitorovány, řízeny a kontrolovány sítí pozemních stanic označovaných jako GPS CS (GPS Control Segment). Hlavní řídicí stanice MCS (Master Control Station) je umístěna na Schrieverově letecké základně v Coloradu. Monitorovací stanice jsou rozmístěny globálně, obsahují vysoce přesné přijímače GPS, které sledují navigační signály v pásmech L ze sateliů, na které mají výhled, pomocí polokulových antén – ty jsou všesměrové nad místním horizontem. Měření neustále předávají hlavní řídicí stanici, která obsahuje výpočetní zařízení pro zpracování těchto měření pro určení odhadů poloh satelitů GPS, jejich rychlosti a chyb v synchronizaci hodin. To probíhá neustále za účasti vyškoleného personálu amerického letectva, který zde pracuje, sleduje stav satelitů a řídí jejich manévrování. Komunikace využívá vysoce přesných směrových pozemních antén, které dosahují výšky až 10 m a požadují přesné namíření na satelit. Je zde tedy nutná obsluha personálu. Pro komunikaci směrem nahoru se využívá frekvence 1 783,74 MHz a pro komunikaci směrem dolů 2 227,5 MHz. [2]



Obrázek 11: Mapa kontrolního pozemního systému GPS

Zdroj: [11]

3.2 GLONASS

Označení GLONASS vychází z ruského „Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema,“ což v překladu znamená Globální navigační satelitní systém. Jeho vývoj započal na přelomu 70. let 20. století bývalý sovětský svaz SSSR na základě zkušeností s Dopplerovým satelitním systémem Tsikada. Hlavním dodavatelem byl Akademický státní podnik aplikované mechaniky M.F. Reshetneva, který byl tak zodpovědný za vývoj i implementaci systému. Dalšími subdodavateli jsou Ruský vědeckovýzkumný ústav vesmírného průmyslu a Ruský ústav radionavigace a času. Ti jsou zodpovědní za monitorování, řízení a správný vývoj přijímačů a hodin. Smyslem systému GLONASS je poskytnout neomezenému počtu uživatelů v letectví, námořnictví nebo jiném odvětví třírozměrné určení polohy, měření rychlosti a časování kdekoli na světě nebo v blízkém vesmíru. [3]

3.2.1 Historie

GLONASS je provozován ruskými vojenskými silami, což je důvod, proč původně nebyly zveřejňovány žádné podrobné informace. V květnu roku 1988 na zasedání zvláštního výboru pro budoucí letecké navigační systémy Mezinárodní organizace civilního letectví ICAO (Civil Aviation Organization) byl představen dokument s technickými podrobnostmi o systému GLONASS a SSSR nabídla systém k volnému užívání civilním uživatelům po celém světě. [3]

V ranných fázích systému byl 12. října 1982 byl vypuštěn první satelit GLONASS spolu se dvěma testovacími satelity, ale žádný z těchto satelitů nebyl součástí finálního spuštění. Satelity byly většinou vypouštěny po třech. V lednu 1984 byly vypuštěny již 4 satelity a bylo zahájeno jejich testování. V druhé fázi 1986–1993 bylo v provozu 12 satelitů, byly dokončeny zkušební lety a započala první fáze provozu. Systém byl označen za zprovozněný 24. září 1993 dekretem prezidenta Ruské federace. Nominální konstelace složená ze 24 satelitů byla poprvé dokončena 18. ledna 1996. Následně ale přišly problémy a kvůli nedostatku financí začal počet satelitů klesat. Minima bylo dosaženo v roce 2001, kdy bylo k dispozici jen 6–8 satelitů. [3]

Od roku 2002 byla udržitelnost a rozvoj prováděn v rámci Federálního programu GLONASS se zajištěným rozpočtem umožňujícím postupné zlepšení výkonu a přesnosti. V rámci programu došlo k vypuštění nových satelitů GLONASS-M, díky kterým

byla opět obnovena plná konstelace 24 satelitů v roce 2011 se spuštěním satelitu GLONASS-M č.44. Dekretem prezidenta Ruské federace byla 17. května 2007 prohlášena služba GLONASS za volně dostupnou všem uživatelům bez omezení. Systém byl také brzy uznán vědeckou komunitou jako samostatný, případně doplňkový, systém pro geodézii a přesnou navigaci. To zajistilo budování sítě přijímačů schopných přijímat signál ze satelitů GLONASS. [2]

3.2.2 Signály

Každý satelit GLONASS poskytuje dva signály, první je signál se standardní přesností – C/A-kód, někdy označován jako S-kód, a druhým je signál vysoké přesnosti P-kód. Tyto signály jsou poskytovány ve dvou L pásmech obvykle označovaných jako G1 a G2, což umožňuje odlišení od signálů systému GPS, ovšem je možné se setkat i označeními L1 a L2. C/A-kód je modulován pouze na G1, zatímco P-kód je modulován na G1 i G2. [3]

3.2.3 Služby GLONASS

Standardní služba určení polohy není u systému GLONASS oficiálním označení, pro určování polohy v režimu pro civilní uživatele se také používají termíny jako „Služby určení polohy se standardní přesností“, „Služby určení polohy s nižší přesností“ či „Civilní přesnost GLONASS“. V případě tohoto režimu je k dispozici pouze standardní signál obsahující C/A-kód. Součástí tohoto režimu také nejsou standardizované hodnoty pro určení polohy. Na základě provedených měření lze říci, že systém GLONASS poskytuje vyšší přesnost určení polohy než systém GPS, protože u tohoto systému není předpokládána selektivní dostupnost a neaplikuje se zde úmyslné snížení přesnosti. [3]

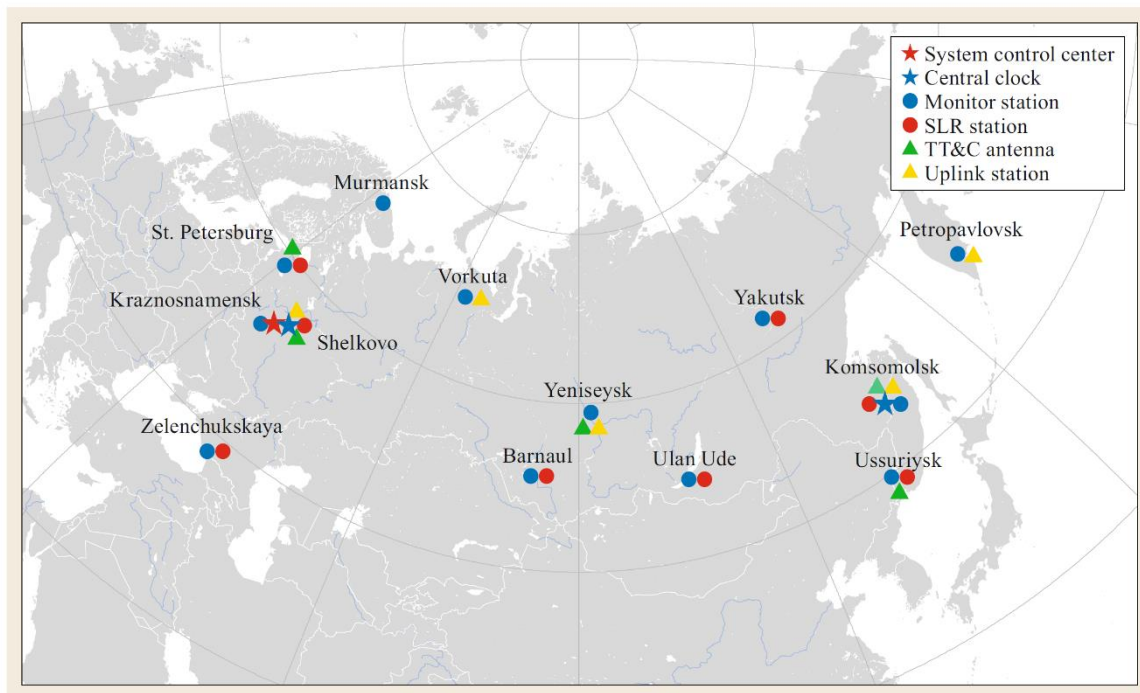
Obdobně systém Přesného určení bodu zde také není oficiální označení, funkčnost systému GLONASS je v tomto režimu ve významu dostupnosti signálu obsahujícího P-kód, což je vojenský signál, který ale není na rozdíl od systému GPS šifrován. Přesto nebyl oficiálně uvolněn pro běžné použití a ruské Ministerstvo obrany nedoporučuje jeho neoprávněné použití. Podrobnější informace o fungování GLONASS v tomto režimu nejsou veřejně známé. [3]

3.2.4 Vesmírný segment

Satelity GLONASS mají kruhové oběžné dráhy v nadmořské výšce přibližně 19 100 km nad zemským povrchem. Nominální oběžná perioda je stanovena na 11 hodin 15 minut a 44 sekund. Úplná konstelace je založena na 24 satelitech ve 3 oběžných rovinách, z toho 21 satelitů je aktivních a 3 jsou označeny jako aktivní záložní satelity. V každé rovině je rovnoměrně rozloženo 8 satelitů. Přesná daná konstelace těchto satelitů zajišťuje, že alespoň 5 satelitů je současně viditelných na 99 % míst na zemském povrchu. Konstelace 21 satelitů umožňuje nepřetržitou současnou viditelnost alespoň 4 satelitů na 97 % zemského povrchu, zatímco konstelace 24 satelitů zvyšuje nepřetržitou viditelnost současně alespoň na 5 satelitů na 99 % zemského povrchu. Všechny satelity GLONASS byly vyneseny na oběžnou dráhu pomocí nosných raket Proton. [3]

3.2.5 Kontrolní systém

Kontrolní systém je založen na řídicím středisku GLONASS SCC (System Control Segment) a centrálních hodinách CC (Central Clocks). Dále jsou v systému obsaženy stanice telemetrie, sledování a řízení, stanice data nahrávající a jednosměrné monitorovací a stanice laserového měření vzdálenosti k satelitům. Všechny tyto prvky se nachází na území Ruské federativní republiky. Řídicí středisko je umístěno v Krasnoznamencku jihozápadně přibližně 40 km od Moskvy a má úkol koordinovat práci všech pozemních prvků. Určování orbit a synchronizaci času provádí za pomoci dat naměřených a sesbíraných z jednotlivých prvků systému. Systémový čas je spravován se zařízením centrálních hodin, které se skládá ze 4 vodíkových maserů, což je zařízení, které využívá vlastnosti vodíku k poskytnutí přesné frekvenční reference. Ty jsou přímo napojeny na systém ruské realizace Koordinovaného světového času. Hlavní centrální hodiny v Schelkovu jsou doplněny druhými v Komsomolsku na dálném východě Ruska. Stanice telemetrie, sledování a kontrolní stanice získávají informace ze satelitů GLONASS. Tyto informace jsou následně použity k odesílání řídicích příkazů a provádění dvoucestných měření pro určení oběžné dráhy. Systém je složen z 5 stanic sledování telemetrie a kontroly a jsou doplněny 5 stanicemi dat nahrávajícími, kde každá je vybavena dvěma anténami, což umožňuje nahrávat data o orbitách a hodinách na každý satelit systému třikrát denně. [2]



Obrázek 12: GLONASS kontrolní pozemní segment

Zdroj: [2, s.239]

3.3 Galileo

Evropa začala pociťovat potřebu vlastního globálního polohového satelitního systému na přelomu tisíciletí, a tak Evropská kosmická agentura ESA (European Space Agency) a Evropská komise EC (European Commission) začala pracovat na vývoji systému Galileo. Vývoj byl zahájen na konci roku 2003. [2]

3.3.1 Historie

První dva satelity systému Galileo označovaný GIOVE byly vypuštěny v letech 2005 a 2008 a pokrývali jen testovací území. Zároveň se zprovozněním satelitů došlo k rezervaci frekvencí pro systém. Satelity se využily k testování klíčových prvků celého systému, jako jsou atomové hodiny a navigační signály. Tyto satelity již dnes nejsou v provozovaném systému a byly odsunuty do vyšších vrstev mimo nominální orbitu systému. Další fáze testování byla založena na čtyřech funkčních satelitech, aby byla splněna podmínka minimálního potřebného počtu satelitů k určení polohy v daném systému. V této fázi byly použity satelity GSATO10x vypuštěné 21. října 2011 a 12. října 2012. Tyto satelity sloužili k ověření funkčnosti systému Galileo a jsou plnohodnotnými satelity systému i dnes. 12. března 2013 bylo provedeno první určení polohy za pomoci pouze satelitů Galileo. To proběhlo v technickém centru

Evropské kosmické agentury v Nizozemsku. Tyto výsledky byly použity k referenčnímu hodnocení očekávaného výkonu kompletně dokončené konstelace. [2]

Do dnešního dne je systém stále ve vývoji a současný stav je tvořen 28 satelity, z nichž je v plném provozu 23 satelitů. Aktuální stav lze zjistit na stránkách Agentury Evropské unie pro vesmírný program. [4]

3.3.2 Signály

Galileo je založeno na třech signálech s označením E1, E5 a E6. Signály E1 a E5 byly přiřazeny k systému GPS, signály označovaný E1 je zahrnut ve frekvenčním pásmu GPS L1 a signál E5 je přiřazen ke GPS L5. Signál E1 funguje na frekvenci 1 575,420 MHz, E5 využívá frekvence 1 191,765 a signál E6 má frekvence 1278,750 MHz. [2]

3.3.3 Služby Galileo

Služby poskytované systémem Galileo jsou rozděleny do čtyř úrovní, první úroveň je založena na signálech pouze ze satelitů Galilea, tato úroveň je dostupná celosvětově a nezávislá na ostatních systémech. Druhá úroveň využívá rozšířeného systému pozemních stanic a je označována jako lokálně asistované služby Galileo. Třetí úroveň je služba překryvných satelitů označovaná EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) a čtvrtou úrovní je použití Galilea spolu s ostatními GNSS pro poskytnutí maximální přesnosti. [3]

Otevřená služba

Určování polohy v režimu otevřené služby OS (Open Service) je dostupné všem uživatelům s ohledem na to, že neobsahuje informace o integritě a ani žádnou záruku, případně odpovědnost provozovatele služby. Tento režim míří na naprostou většinou běžných uživatelů a jeho hlavním úkolem je poskytnout základní služby polohování a časování. Šest nosných signálů je modulováno na tři nosné frekvence. Díky tomu je zajištěna konkurence schopnost ostatním systémům GNSS, díky použití více frekvencí je zajištěn vyšší výkon a odolnost interferencím. Frekvenční pásma se částečně překrývají s frekvenčními pásmy ostatních GNSS, čímž je zvýšena kompatibilita a interoperabilita. [3]

Tato služba může být rozšířena o autorizační zprávu s volným přístupem, která ponese potvrzení o tom, že signál pochází ze systému Galileo a nebyl pozměněn. [5]

Služba s vysokou přesností

Galileo v režimu vysoké přesnosti HAS (High Accuracy Service) od 24. ledna 2023 poskytuje bezplatně korekci o vysoké přesnosti pro přesné učení bodu prostřednictvím pozemních sítí jako je internet. [6]

Služba veřejně regulovaného systému

Galileo ve veřejně regulovaném režimu PRS (Public Regulated Service) je šifrovaná navigační služba pro vládou povolené uživatele a citlivé aplikace s požadavkem na vysokou kontinuitu. V tomto režimu Galileo zajišťuje lepší kontinuitu pro oprávněné uživatele v případě, že mají přístup k ostatním navigačním službám oslaben. V případě útoku na systém zvyšuje pravděpodobnost dostupnosti signálu. Zároveň také zvyšuje nároky na případné útoky, protože je odolnější vůči podvrhování signálů, které mohou vést k výpočtu chybné polohy. Pro příklad je tato služba využívána požární a zdravotní záchrannou službou, policií, pobřežní stráží či celní službou. [6]

Služba najdi a zachraň

Služba najdi a zachraň s označením SAR (Search And Rescue) je služba pro rychlé lokalizování a pomoc jednotlivců v nouzi. Služba využívá dva typy satelitů, prvním je nízko orbitální LEOSAR, který má pokrytí pouze na určitém území a může tak trvat až několik hodin, než pokryje oblast, ze které nouzový signál přichází. Druhým typem je vysoko orbitální GEOSAR, který má mnohem větší pokrytí a je schopen přijmout nouzový signál prakticky okamžitě, ale již není schopen určit, kde se vysílač nouzového signálu nachází. Systém využívá speciální zařízení na satelitech Galilea a třech pozemních stanic. Systém je schopen informovat vysílač zpět, že signál byl přijat. Tato služba nachází využití hlavně v námořní dopravě. [7]

3.3.4 Vesmírný segment

Vesmírný segment Galilea je v plném počtu tvořen 30 satelity umístěných ve středně vysoké oběžné dráze. V každé ze 3 orbitálních rovin je umístěno 10 satelitů s nominálním sklonem 56°. Aktivní konstelace počítá se 24 satelity a 6 satelity náhradními,

které je možné v dané rovině přemístit na místo jakéhokoli satelitu, který selže tak, aby byla zajištěna v co nejvyšší možné míře dostupnost služby. Nadmořská výška oběžné dráhy je přibližně 23 222 km. Satelit má oběžnou dráhu stanovenou na 14 hodin 5 minut a 42 sekund. Výška je zvolena tak, aby se eliminovali gravitační rezonance, což umožní provoz bez požadavků na úpravy udržování pozice po přesném nastavení při zavedení satelitu do provozu, tato výška také umožňuje vysokou viditelnost satelitů na většině povrchu Země a většinou je zajištěna viditelnost minimálně 6-8 satelitů. [8]

3.3.5 Kontrolní segment

Pozemní infrastruktura Galileo je složena z pozemního řídicího segmentu GCS (Ground Control Segment) sloužící pro kontrolu satelitů a jejich konstelace a pozemního misijního segmentu GMS (Ground Mission Segment) pro úkoly spojené s poskytováním služeb. Pozemní kontrolní segment provádí veškeré řízení satelitů a zhraňuje celosvětovou síť stanic telemetrie, sledování a velení TT&C (Telemetry, Tracking and Command), tak aby Galileo poskytovalo celosvětové pokrytí. Pozemní misijní segment měří a monitoruje navigační signály, vypočítává data navigačních zpráv a poskytuje je satelitům, pro tuto funkčnost obsahuje dvě celosvětové sítě stanic. První jsou L-pásmové stanice sensorů GSS (Galileo Sensor Stations), které slouží ke sběru měření vzdáleností navigačních signálů a druhé jsou C-pásmové stanice data nahrávající ULS (Uplink Stations) sloužící k vysílání efemerid, předpovědi hodin, návratovému signálu SAR a obchodním servisním datům. Celý systém má dvě kontrolní centra GCC (Galileo Control Centers), jedno je umístěno v Oberpfaffenhofenu v Německu a druhé ve Fucinu v Itálii. Globální síť všech prvků je propojena a v konečné fázi budou obě centra redundantní, aby byla zajištěna dostupnost všech součástí Galilea. [2]

3.4 BeiDou

Čína začala o provoz vlastního nezávislého navigačního systému uvažovat v 80. letech 20. století. Pro spuštění systému byly uvažovány 3 úrovně provozu od testovací fáze s místním pokrytím až po konečnou s globálním pokrytím. [2]

3.4.1 Historie

První fáze systému BeiDou nazývaná BeiDou-1 začala v roce 1994 výstavbou systému demonstrujícího systém pomocí satelitů, v roce 2000 byly vypuštěny dva experimentální

satelity, ke kterým byl v roce 2003 vypuštěn třetí, který zvýšil výkonnost systému, a díky tomu byla formálně zřízena úroveň BeiDou1, čímž se Čína stala třetí zemí provozující nezávislý satelitní navigační systém. Druhá fáze započala v roce 2004 a první satelit této fáze byl vypuštěn v roce 2007 a na konci roku 2012 byla služba tvořena 14 satelity a byla dostupná pro Čínu a velkou část Asie a Tichomoří. Současná třetí fáze, kdy systém pokryje globálně celé území probíhá do současnosti. [2]

3.4.2 Signály

BeiDou využívá 6 signálů ve třech odlišných frekvenčních pásmech. Signály B1 mají frekvenci 1 561, 098 MHz, signály B2 1 207,14 MHz a signály B3 1 268,52 MHz. Frekvence B1 a B3 jsou tak přibližně posunuty odpovídají signálům E1/L1 a E6 systémům Galileo a GPS přibližně o 14 MHz a 10 MHz a frekvence B2 odpovídá Galileo E5b. Signály B1-I a B2-I jsou tedy součástí otevřeného systému a ostatní 4 signály B1-Q, B2-Q, B3-I a B3-Q jsou součástí systému vyžadujícího autorizaci. [2]

3.4.3 Služby BeiDou

Služba BeiDou je tvořena otevřenou službou s přesností lepší než 2,5 m, poskytuje služby polohování a časová dostupné v celé oblasti pokrytí. Fungování systému ve verzi vyžadující autorizaci není veřejně známo. [2]

3.4.4 Vesmírný segment

Vesmírný segment ve fázi 3 je založen na 30 funkčních satelitech, 1 záložním a 2 satelity umístěnými pod orbitou sloužící k testování. V současné době je v systému Beidou funkcích celkem 48 satelitů, tedy 15 satelitů je v provozu ještě z fáze 2 označované BeiDou-2 a 33 satelitů je ze současné fáze 3 označované BeiDou-3 [9]

3.4.5 Kontrolní segment

Kontrolní segment systému BeiDou je tvořen řídicí stanicí MCS (Master Control Center), dvěma stanicemi data nahrávajícími UP (Upload Stations) a 30 monitorovacími stanicemi MS (Monitoring Stations). [10]

3.5 Shrnutí GNSS

Z historického hlediska je mezi lidmi nejvíce známý systém GPS, který se vždy automaticky každému vybaví při vyslovení slova navigace. Tento systém je ale ovlivněn technickými možnostmi, které byly dostupné v době jeho vzniku. Je tak více náročný na údržbu než novější systémy, jakým je například Galileo, který využívá veškeré dostupné technologie, což mu umožnilo překonat technická omezení, která mají starší systémy. To umožňuje tento systém provozovat s menšími nároky na údržbu, stejně tak jsou kladeny nižší požadavky na personál a jeho chod je tak zajištěn s nižšími náklady. Z pohledu běžného uživatele je největší výhodou dostupnost několika nezávislých systémů, které fungují na podobném principu a mají podobné frekvence vysílaných signálů. To umožňuje uživateli použití jedné antény, která je schopna přijímat signál hned z několik systémů najednou, a dosáhnout tak vyšší přesnosti při určování polohy, než by tomu bylo v případě využití jen jednoho systému. Uživatelé mají také zajištěnou redundanci a jsou schopni určovat polohu i případě výpadku některého ze systémů. Největší výhodou všech těchto systémů je, že poskytují běžným uživatelům služby s dostatečnou mírou přesnosti zcela zdarma a globálně.

4 Wi-Fi Polohové systémy

Běžně používané globální polohové satelitní systémy, které byly doposud v této bakalářské práci rozebrány mají řadu výhod a jsou vhodné pro určení polohy v naprosté většině případů. Najdeme ale příklady, kdy tyto systémy kvůli nepřímé viditelnosti na satelity nebo odražení signálů a jejich vícecestnosti hlavně v centrech měst nedosahují takové přesnosti, která by byla dostatečná pro určení polohy v daném případě. Nacházíme tedy alternativní způsoby, jakými lze určit polohu. Vzhledem k husté síti pokrytí Wi-Fi routerů, které se nachází dnes již prakticky v každé domácnosti, jsme schopni určit polohu na základě viditelných Wi-Fi bodů, které mají svůj název SSID a unikátní MAC adresu.

Pro určení polohy na základě Wi-Fi přístupových bodů se používá technologie vytváření otisků – fingerprinting, u které se vytvoří seznam Wi-Fi přístupových bodů, ke každému se zaznamená jeho poloha a tento seznam se zanesse do databáze. Určování polohy následně probíhá na základě viditelnosti daných Wi-Fi přístupových bodů a jejich existence spolu s polohou v databázi. Výhoda této metody spočívá ve vhodnosti k použití nejen ve venkovních prostorech, ale i ve vnitřních. Vzhledem k rozmachu chytrých mobilních telefonů je dnes veškerá potřebná technologie jako GNSS anténa a Wi-Fi přijímač již součástí, lze tedy chytrý mobilní telefon použít jak ke sběru a vytváření databáze, tak k jejímu zpřesňování, a i k následnému určování polohy.

5 Mobilní aplikace pro záznam polohy

Pro tvorbu mobilní aplikace pro záznam polohy byl zvolen operační systém Android a programovací jazyk Java. Díky otevřenosti a open source architektuře tohoto systému jsou i veškeré vývojové nástroje dostupné zdarma. Aplikace má dvě hlavní funkce, a to sběr Wi-Fi přístupových bodů a jejich polohy a následně záznam polohy v čase pomocí signálů GNSS a pomocí určení polohy za pomoci viditelných přístupových bodů Wi-Fi. Hlavním cílem aplikace je ověřit, zdali je možné s dostatečnou přesností určit polohu, aniž by se využilo signálů GNSS a lze tak tento způsob použít efektivně v místech, kde je kvalita signálů GNSS zhoršena místními podmínkami, jako jsou například vysoké budovy, a přesnost určení polohy je zde horší.

5.1 Části aplikace

5.1.1 Uživatelské rozhraní

Pro tvorbu uživatelského rozhraní byl použit jazyk XML (eXtensible Markup Language), který umožňuje nadefinovat strukturu a vzhled uživatelského rozhraní. V rámci vývojového prostředí Android Studio je součástí grafický editor, kde je možné nastavit jednotlivé rozvržení a prvky, což umožňuje poměrně rychlý a efektivní návrh uživatelského prostředí. Každé vytvořené prostředí je následně spojeno s ovládacím kódem v Javě, který je označen jako aktivita.

5.1.2 Aktivity

Kód, který nese označení aktivita, slouží k ovládní jednotlivých pohledů, se kterými uživatel interaguje v rámci aplikace. Každý takový kód obsahuje definici ovládacích prvků v pohledu. Můžou zde být definovány listenery, kterými se volají funkce v rámci aplikace.

5.1.3 Manažer určování služeb polohy

Manažer určování služeb polohy s označením LocationManager je třída systému Android, která poskytuje geografické informace za pomoci přijatých signálů GNSS zařízením, případně lze může k určení polohy použít i mobilní síť operátorů nebo Wi-Fi přístupové body, ovšem není zcela transparentní, jak Google těchto způsobů

využívá. Pro potřeby aplikace tento manažer poskytuje informace o zeměpisné šířce, délce a aktuální přesnosti, kterou dané souřadnice mají.

5.1.4 Manažer Wi-Fi

Manažer služeb související s připojením Wi-Fi je třída Systému Android WifiManager a má tři hlavní funkce, kterými je vypínání a zapínání Wi-Fi modulu a skenování dostupných sítí. O dostupných sítích poskytuje celou řadu informací, ze kterých je pro potřeby aplikace nutné získat název Wi-Fi přístupových bodů, jejich unikátní MAC adresu a silu signálu, se kterou je zařízením přijímán.

5.1.5 JSON

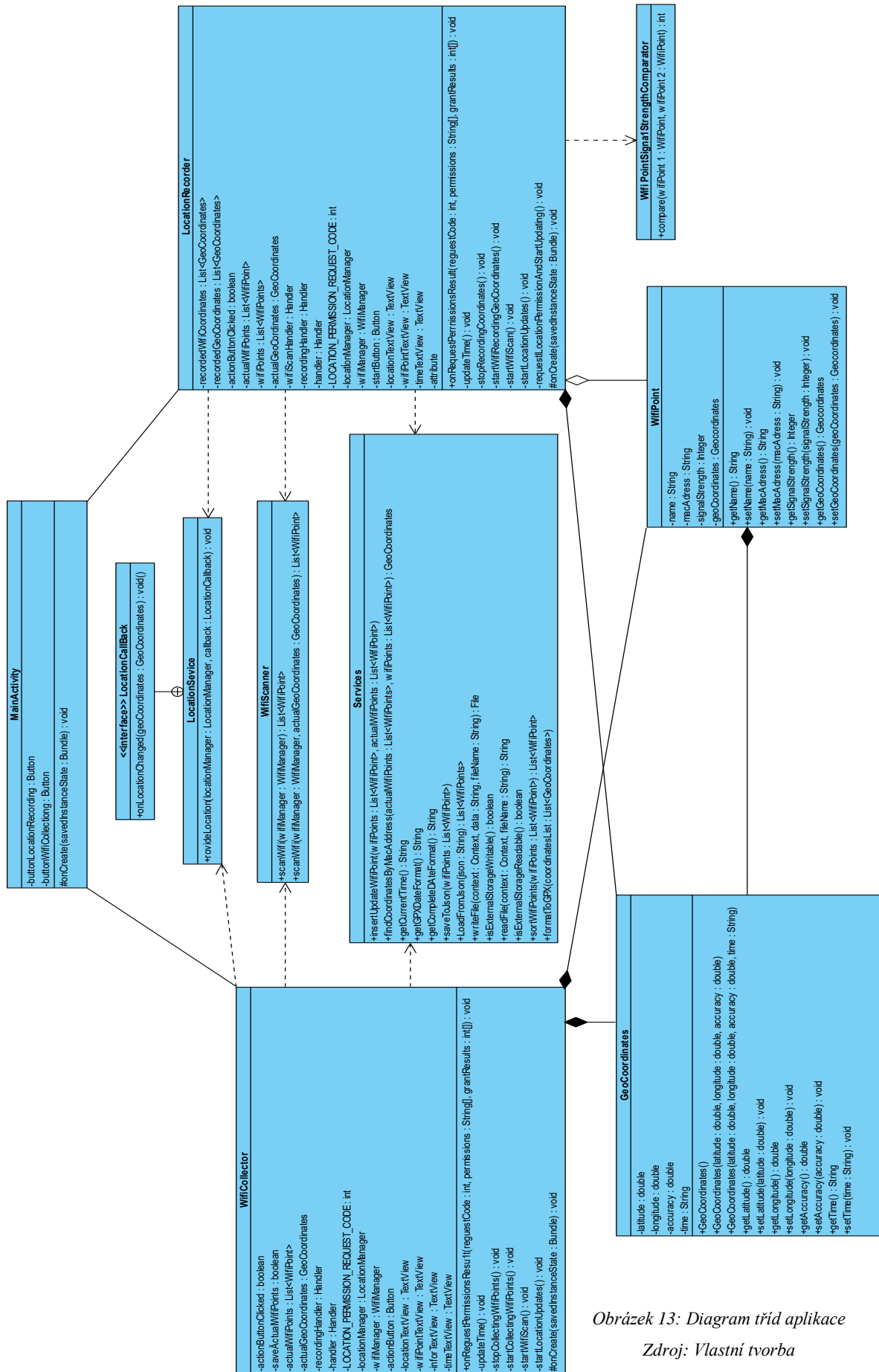
JSON (JavaScript Object Notation) je formát sloužící pro výměnu dat nezávislý na použitém jazyku. Pro využití v Javě slouží třída Gson. Tento formát je v aplikaci použit pro uložení všech naskenovaných přístupových bodů Wi-Fi, protože umožňuje snadné uložení objektů a jejich zpětné načtení.

5.1.6 GPX

GPX (GPS Exchange Format) je formát používaný soubory obsahující záznamy o trasách a jeho hlavním úkolem je snadná výměna informací mezi zařízeními. Je založen na formátu XML (extensible Markup Language) a je tvořen hlavičkou, ve které jsou obsaženy informace o verzi, kódování a autorovi a dále obsahuje informace o trasách – jednotlivých bodech na trase, nebo cestách, které jsou definované jako série bodů. Tento formát tedy slouží v aplikaci k uložení zaznamenaných tras, jak pomocí signálů GNSS, tak pomocí Wi-Fi přijímacích bodů.

5.2 Třídy v rámci kódu mobilní aplikace

V následujících odstavcích je popis jednotlivých tříd, které tvoří kód, a jejich popis, případně popis, funkcí, které poskytují.



Obrázek 13: Diagram tříd aplikace

Zdroj: Vlastní tvorba

5.2.1 GeoCoordinates a WifiPoint

V rámci kódu jsou navrženy dvě stěžejní třídy, na kterých založena celá aplikace pro záznam polohy. Třída GeoCoordinates má definovány atributy, jako je zeměpisná délka a šířka, dále přesnost, s jakou jsou souřadnice získány, a pro potřeby záznamu polohy v čase může objekt obsahovat také čas, kdy byla souřadnice získána. Třída WifiPoint má atributy jako jméno, MAC adresa, síla signálu a souřadnice GeoCoordinates, kde byl daný bod zachycen.

5.2.2 WifiScanner

Třída WifiScanner obsahuje funkce pro navrácení listu aktuálních viditelných Wi-Fi přístupových bodů. Tyto funkce využívají třídy WifiManager, která je součástí Android API (Application Programming Interface – rozhraní pro programování aplikací) a poskytuje služby spojené se zapínáním a vypínáním Wi-Fi adaptéru a skenování dostupných sítí. Za použití WifiManageru dojde k získání aktuálně viditelných Wi-Fi bodů a navrátí se list obsahující objekty WifiPoint.

5.2.3 LocationService

LocationService má metodu navracející aktuální souřadnice ve formě objektu GeoCoordinates. Pro získání souřadnic používá metoda třídu LocationManager, která je součástí Android API.

```
public void onLocationChanged(Location location) {  
    // create new geoCoordinates with updated coordinates  
    GeoCoordinates geoCoordinates = new GeoCoordinates(  
        location.getLatitude(),  
        location.getLongitude(),  
        location.getAccuracy());  
  
    // provides updated GeoCoordinates  
    callback.onLocationChanged(geoCoordinates);  
}
```

Výpis z kódu 1: Funkce pro vrácení souřadnic v GeoCoordinates

5.2.4 Services

Ve třídě Services jsou obsaženy veškeré funkce sloužící pro práci se Wi-Fi body, souřadnicemi a soubory. Je zde metoda sloužící pro zaznamenání nových Wi-Fi bodů, případně porovnání aktuálně viditelných Wi-Fi bodů s těmi již zaznamenanými, kde v případě lepšího signálu aktuálně viditelného Wi-Fi bodu dojde k aktualizaci souřadnic s vyšší přesností bodu již zaznamenaného.

```
public static List<WifiPoint> insertUpdateWifiPoint(List<WifiPoint> wifiPoints,
List<WifiPoint> actualWifiPoints) {
    if (!wifiPoints.isEmpty()) {
        for (WifiPoint actualWifiPoint : actualWifiPoints) {
            boolean found = false;
            for (WifiPoint wifiPoint : wifiPoints) {
                if (wifiPoint.getMacAddress().equals(actualWifiPoint.getMacAddress())) {
                    found = true;
                    if (actualWifiPoint.getSignalStrength() < wifiPoint.getSignalStrength()) {
                        // update coordinates - signal strength is better
                        wifiPoint.setGeoCoordinates(actualWifiPoint.getGeoCoordinates());
                    }
                    break; // end loop when found
                }
            }
            if (!found) {
                // add actualWifiPoint to wifiPoints if it was not found
                wifiPoints.add(actualWifiPoint);
            }
        }
    } else {
        wifiPoints.addAll(actualWifiPoints);
    }
    return wifiPoints;
}
```

Výpis z kódu 2: Funkce aktualizace či uložení Wi-Fi bodu

Dále jsou zde obsaženy metody pro získání aktuální času v potřebném formátu a metody sloužící pro uložení a zpětné načtení dat pomocí formátu JSON (JavaScript Object Notation). Pro další práci s daty jsou zde funkce pro vypsání JSON formátu do souboru a případně jejich zpětné načtení. Dále je zde také metoda, která seřadí aktuálně viditelné Wi-Fi body podle síly signálu, díky čemuž následně probíhá vyhledání souřadnic v zaznamenaných bodech sestupně od toho s nejlepším signálem. V případě určování polohy pomocí uložených Wi-Fi bodů je zde dostupná metoda, která

navrací objekt GeoCoordinates v přísladě nalezené shody. Pro uložení souboru do formátu GPX (GPS Exchange Format) je nutná metoda, která převede list objektů GeoCoordinates na formát GPX.

```
public static String formatToGPX(List<GeoCoordinates> coordinatesList) {
    StringBuilder gpxBuilder = new StringBuilder();
    gpxBuilder.append("<?xml version=\"1.0\" encoding=\"UTF-8\" standalone=\"no\" >\n");
    gpxBuilder.append("<gpx version=\"1.1\" creator=\"Location Recorder\">\n");

    for (GeoCoordinates coordinates : coordinatesList) {
        gpxBuilder.append(" <wpt lat=\"").append(coordinates.getLatitude())
            .append("\" lon=\"").append(coordinates.getLongitude()).append("\">\n");
        gpxBuilder.append(" <time>").append(coordinates.getTime()).append("</time>\n");
        gpxBuilder.append(" </wpt>\n");
    }

    gpxBuilder.append("</gpx>\n");

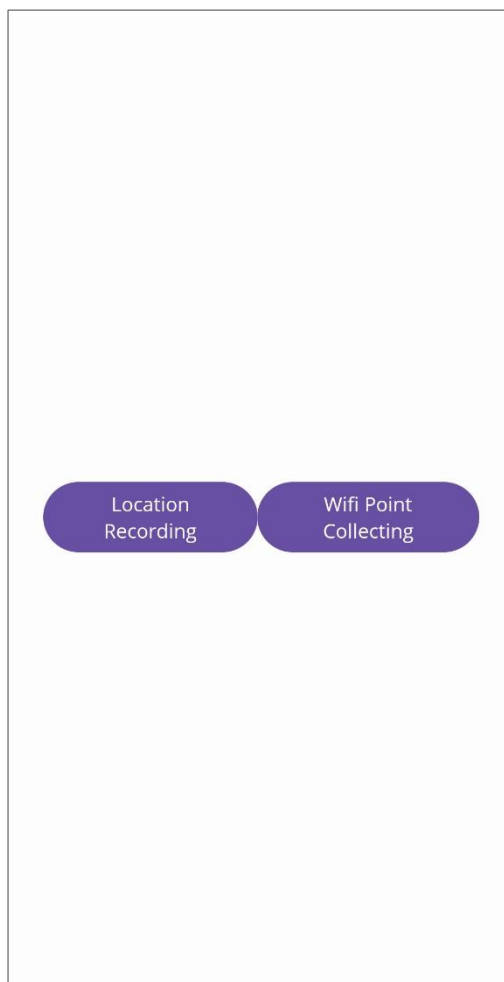
    return gpxBuilder.toString();
}
```

Výpis z kódu 3: Funkce pro vytvoření textu ve formátu GPX

Funkce formatToGPX přijme na vstupu List<Geocordinates>, v první fázi vytvoří hlavičku GPX a následně začne procházet list se souřadnicemi a tvořit formát pro jednotlivé body, který bude následně možno uložit a jednoduše zobrazit, případně s ním dále pracovat.

5.2.5 Aktivity

V rámci aplikace jsou využity celkem tři aktivity, první aktivitou je aktivita s názvem MainActivity. Ta uživateli zobrazí dvě tlačítka, jak je zobrazeno na obrázku č. 13, a má na výběr, zdali chce zaznamenávat Wi-Fi body, případně provést záznam polohy za pomoci Wi-Fi bodů a signálů GNSS.



Obrázek 14: Hlavní obrazovka aplikace

Zdroj: Vlastní tvorba

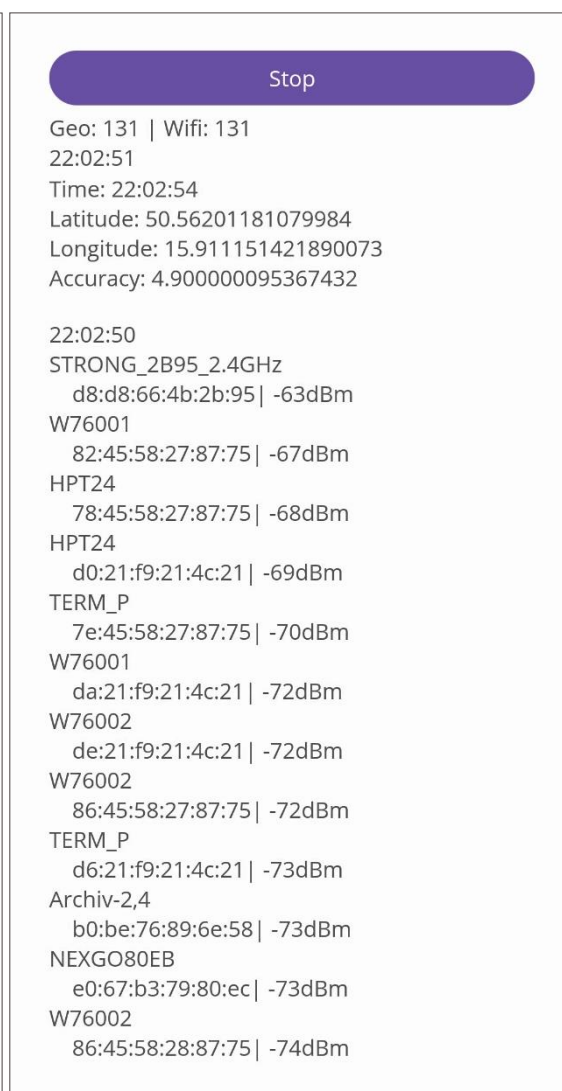
V případě, že uživatel zvolí, že chce zaznamenávat Wi-Fi body, je přesměrován na aktivitu s názvem WifiCollector, ta je zobrazena na obrázku č. 14. V rámci této aktivity vidí aktuální polohu a dostupné Wi-Fi body. Po stisknutí tlačítka „Start“ dojde v případě již existujícího souboru k načtení Wi-Fi bodů, případně se začne úplně nový záznam. V rámci zaznamenávání jsou zaznamenávány nové body, případně upravovány ty aktuální, jestliže je aktuální signál bodu silnější a máme tak přesněji určenou jeho polohu. Po dokončení dojde k zapsání všech bodů do souboru

„wifiPoints.json“, který je uložen v rámci uživatelsky dostupné složky v úložišti ve složce Android\data\cz.uhk.bp.locationrecorder\files.

Aktivita s názvem LocationRecorder je uživateli zobrazena, pokud se rozhodne pro záznam polohy, její vzhled je vyobrazen na obrázku č. 15. V rámci aktivity jsou uživateli zobrazeny obdobné prvky jako v případě aktivity WifiCollector. Vidí tedy aktuální polohu a dostupné Wi-Fi body. Po kliknutí na tlačítko Start dojde k záznamu polohy, v případě, že je existující soubor „wifiPoints.json“, dojde k načtení zaznamenaných Wi-Fi bodů a začne se provádět záznam za pomoci signálů GNSS a hledání souřadnic v zaznamenaných Wi-Fi bodech. Po dokončení záznamu jsou uloženy GPX soubory, v závislosti na tom, zdali se podařilo provést oba dva záznamy, do složky Android\data\cz.uhk.bp.locationrecorder\files.



Obrázek 15: Obrazovka při záznamu Wi-Fi bodů
Zdroj: Vlastní tvorba



Obrázek 16: Obrazovka při záznamu polohy
Zdroj: Vlastní tvorba

6 Záznam polohy a Wi-Fi bodů

Za pomoci aplikace byl proveden záznam Wi-Fi bodů na vybraném území a v další fázi byl proveden záznam polohy pomocí signálů GNSS a pomocí viditelných Wi-Fi bodů.

6.1 Záznam Wi-Fi přístupových bodů

Nejprve byl proveden záznam Wi-Fi bodů průchodem prostředkem ulice Horská na ve vyobrazené oblasti. Při tomto průchodu bylo zaznamenáno 235 Wi-Fi přístupových bodů.

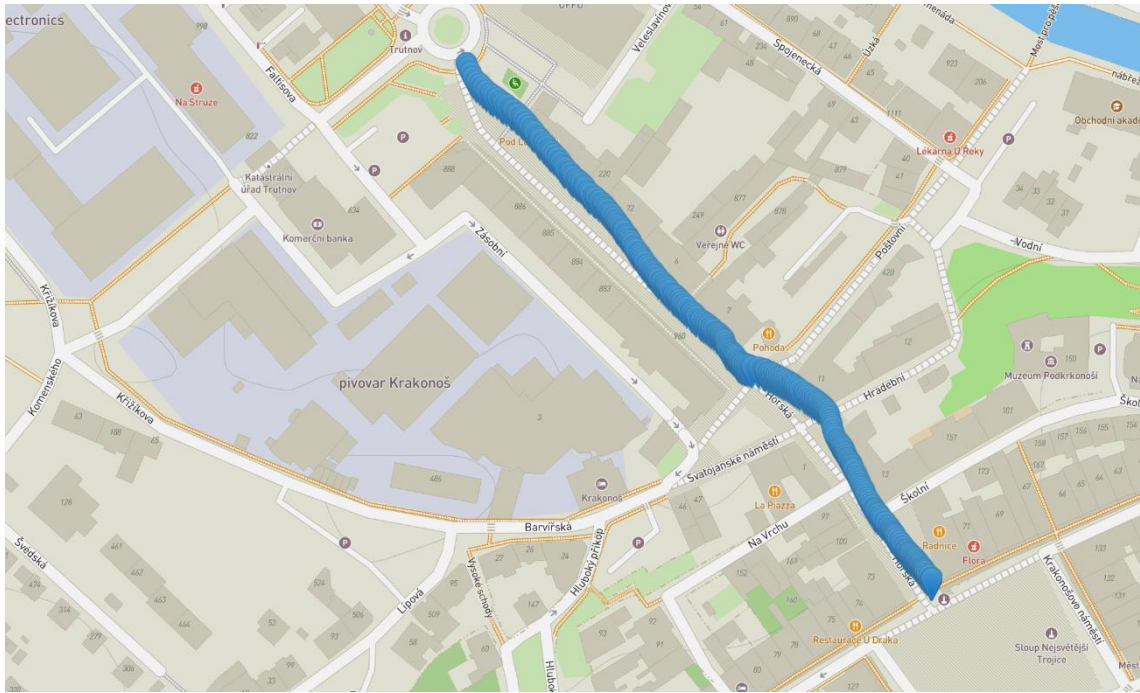


Obrázek 17: Zobrazení zaznamenané oblasti

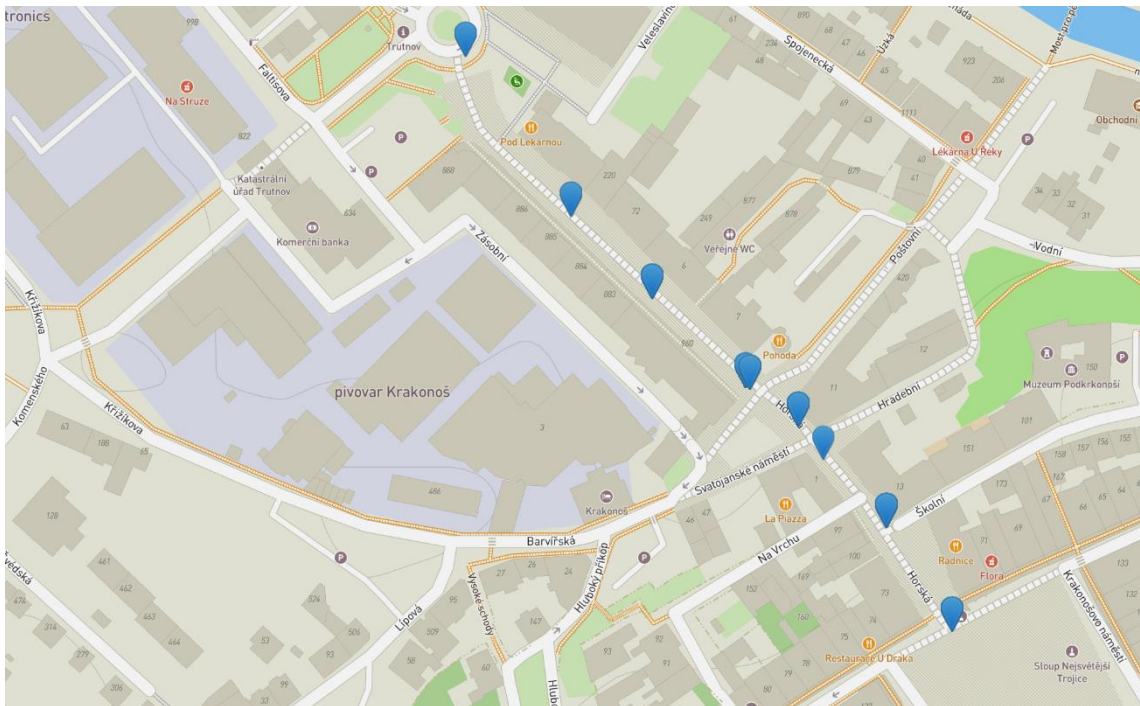
Úprava autorem pomocí nástroje gpx.studio, mapa převzata [12]

6.2 Záznam za pomoci signálů GNSS a Wi-Fi bodů

Při průchodu zpět byl proveden záznam na základě signálů GNSS a za pomoci naskenovaných Wi-Fi bodů. Tyto dva záznamy jsou zobrazeny na následujících obrázcích.



Obrázek 18: Zobrazení zaznamenaných bodů pomocí GNSS
Úprava autorem pomocí nástroje gpx.studio, mapa převzata [12]



Obrázek 19: Zobrazení zaznamenaných bodů pomocí Wi-Fi bodů
Úprava autorem pomocí nástroje gpx.studio, mapa převzata [12]

V případě záznamu pomocí signálů Wi-Fi je síť bodů zaznamenána se změnou prakticky každou vteřinu a záznam je poměrně přesný, s přesností kolem 10 m. Na druhém obrázku je vidět pouze 8 bodů, a to z toho důvodu, že v závislosti na různých optimalizačních postupech souvisejících se spotřebou energie nelze na každém zařízení získat seznam viditelných Wi-Fi bodů v tak krátkém intervalu, jako to lze s GNSS souřadnicemi. To způsobilo, že soubor s Wi-Fi souřadnicemi je sice obdobně obsáhlý jako ten s GNSS souřadnicemi, ale většina souřadnic je v něm stejná. Tyto optimalizace způsobily i omezenou možnost záznamu daných Wi-Fi přístupových bodů. V případě pomyslného spojení jednotlivých viditelných bodů lze říci, že tento záznam polohy byl poměrně přesný a lze říci, že i přesnější než záznam za pomoci signálů GNSS, kde byla menší přesnost způsobena pravděpodobně zhoršeným aktuálním stavem počasí, kdy při cestě zpět byl výraznější déšť, než byl při záznamu bodů.

7 Využití technologie určení polohy pomocí Wi-Fi bodů

Na základě provedeného měření lze říci, že určení polohy pomocí Wi-Fi bodů by mohlo najít uplatnění všude tam, kde jsou omezeny možnosti příjmu signálů GNSS, jako jsou města s vysokými budovami, tunely, případně vnitřní prostory rozsáhlých budov a podzemní areály. Technologie Wi-Fi je dnes již poměrně rozšířena a cena zařízení je poměrně levná, navíc zařízení, které by mělo za úkol jen vysílat informace o vlastních údajích, a to na omezenou vzdálenost, by bylo poměrně levné. Nabízí se tedy otázka, zdali by bylo možné například lampy a koše osadit takovými Wi-Fi zařízeními a do databáze manuálně zanést jejich přesnou polohu. V případě tunelů, kde prakticky není možné použití signálů GNSS by tato technologie mohla přinést poněkud dostupnou a přesnou metodu určení polohy. Za předpokladu, že by s daným scénářem počítal i operační systém zařízení a umožnil tak na dobu výpadku signálu GNSS vyšší frekvenci obnovy viditelných Wi-Fi bodů, případně by s tím pracovali API sloužící k určení polohy nebo aplikace pro navigaci, která by si před vjezdem do tunelu stáhla potřebná data z databáze, bylo by toto nasazení poměrně jednoduché a využít by ho mohl prakticky každý chytrý mobilní telefon, který je dnes dostupný na trhu.

8 Závěr

Tato bakalářská práce se zabývala globálními satelitními polohovými systémy a principem jejich fungování. Práce popsala obecně, jak tyto systémy fungují a jak jsou ovlivněny signály satelitů, které prochází atmosférou Země a jsou tedy na základě různých fyzikálních vlastností jednotlivých vrstev zpoždovány, případně ohýbány. Přiblížila také metody, s nimiž lze tyto chyby potlačit a zpřesnit tak výpočet určené polohy. Práce se také dále zabývala alternativní možností určení polohy za pomoci Wi-Fi přístupových bodů. Pro ověření možnosti alternativního určení polohy vznikla mobilní aplikace pro operační systém Android, která umožňuje zaznamenat polohu Wi-Fi přístupových bodů a následně provést záznam polohy v čase, jak metodou určení polohy za pomoci signálů globálních satelitních polohových systémů, tak pomocí procházení viditelných Wi-Fi přístupových bodů a jejich prohledávání v dříve zaznamenaných bodech. Na základě provedeného záznamu lze konstatovat, že polohu lze určit s poměrně dobrou přesností. Nelze však hovořit o takové přesnosti, jaké lze dosáhnout tradiční metodou za pomoci signálů globálních satelitních systémů. Našla by však tato alternativní metoda poměrně ekonomické nasazení všude tam, kde jsou tradiční systémy silně limitovány, případně je nelze použít vůbec, což můžou být například tunely. Navíc je výhodou, že tato metoda využívá již dostupný hardware na přijímacích zařízeních – chytrých mobilních telefonech.

9 Použité zdroje:

[1] JEFFREY, Charles. In: *An Introduction to GNSS GPS, GLONASS, BeiDou, Galileo and other Global Navigation Satellite Systems*. 2. NovAtel, 2015.

ISBN 978-0-9813754-0-3.

[2] *Springer handbook of global navigation satellite systems*. Editor Peter J. G. TEUNISSEN, editor Oliver MONTENBRUCK. Cham [Švýcarsko]: Springer, [2017]. ISBN 978-3-319-42926-7.

[3] HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, Herbert a WASLE, Elmar. *GNSS--global navigation satellite systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more*. Wien: Springer, c2008. ISBN 978-3-211-73012-6.

[4] Constellation Status. *European GNSS Service Centre* [online]. 2024 [cit. 2024-03-09]. Dostupné z: <https://www.gsc-europa.eu/system-service-status/constellation-information>

[5] Services. *European Union Agency for the Space Programme* [online]. 2024 [cit. 2024-03-09]. Dostupné z: <https://www.euspa.europa.eu/galileo/services>

[6] Galileo High Accuracy Service (HAS). *European Union Agency for the Space Programme* [online]. 2024 [cit. 2024-03-09]. Dostupné z: <https://www.euspa.europa.eu/european-space/galileo/services/galileo-high-accuracy-service-has>

[7] Search and Rescue (SAR). *European Union Agency for the Space Programme* [online]. 2024 [cit. 2024-03-09]. Dostupné z: <https://www.euspa.europa.eu/european-space/galileo/services/search-and-rescue-sar-galileo-service>

[8] Galileo Space Segment. *ESA navipeida* [online]. 2024 [cit. 2024-03-09]. Dostupné z: https://gssc.esa.int/navipedia/index.php?title=Galileo_Space_Segment

[9] *Development of BeiDou Navigation Satellite System* [online]. 2024 [cit. 2024-04-03]. Dostupné z: https://www.unoosa.org/documents/pdf/copuos/stsc/2024/ListTechnicalPresentations/2024_STSC_technical_presentations_slides/d2_--_Characteristic_services_and_applications_of_Beidou_Satellite_Navigation_System_Ms._DU_Juan_China.pdf

[10] *Chinese BeiDou* [online]. 2024 [cit. 2024-04-03]. Dostupné z:
<https://www.e-education.psu.edu/geog862/node/1879>

[11] GPS Control Segment Map. In: *GPS.GOV* [online]. [cit. 2024-04-09]. Dostupné z:
<https://www.gps.gov/multimedia/images/GPS-control-segment-map.pdf>

[12] *OpenStreetMap* [online]. [cit. 2024-04-19]. Dostupné z:
<https://www.openstreetmap.org/#map=18/50.56179/15.91033>

10 Přílohy

Příloha č. 1 – Zdrojový_kód_mobilní_aplikace.zip

Zadání bakalářské práce

Autor: **Martin Čechura**

Studium: I2100188

Studijní program: B1802 Aplikovaná informatika

Studijní obor: Aplikovaná informatika

Název bakalářské práce: **Mobilní aplikace pro záznam polohy**

Název bakalářské práce AJ: Mobile App for Recording Location

Cíl, metody, literatura, předpoklady:

Cílem práce bude rozebrat fungování globálních družicových polohových systémů a jejich porovnání. V rámci praktické části práce vznikne mobilní aplikace pro záznam polohy a budou provedeny záznamy polohy, kdy pro určení polohy bude použit družicový systém a alternativní systém určení polohy za pomoci Wi-Fi.

Úvod – Chytré telefony a polohové systémy

Stat' – 1) Globální družicové polohové systémy

a) GPS

b) GLONASS

c) Galileo

2) Wi-Fi polohový systém

3) Tvorba mobilní aplikace

4) Provedení záznamů polohy

a) Za pomoci družicových systémů

b) Za pomoci Wi-Fi

Závěr – Zhodnocení kvality určení polohy

HOFMANN-WELLENHOF, B., LICHTENEGGER, Herbert a WASLE, Elmar. GNSS--global navigation satellite systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more. Wien: Springer, c2008. ISBN 978-3-211-73012-6.

HEGARTY, Christopher J. a KAPLAN, Elliott D. Understanding GPS: principles and applications. 2nd ed. Boston: Artech House, c2006. ISBN 1-58053-894-0.

PETROVSKI, Ivan G. GPS, GLONASS, Galileo and Beidou for mobile devices. Cambridge: Cambridge University Press, c2014. ISBN 978-1-107-03584-3

Zadávací pracoviště: **Katedra informatiky a kvantitativních metod,
Fakulta informatiky a managementu**

Vedoucí práce: **doc. Ing. Filip Malý, Ph.D.**

Datum zadání závěrečné práce: **26.1.2021**