

UNIVERZITA PARDUBICE
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

ANALÝZA PŘESNOSTI GPS PŘIJÍMAČE
LUKÁŠ SÁGNER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
2008

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra informačních technologií
Akademický rok: 2007/2008

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lukáš SÁGNER**
Studijní program: **B2646 Informační technologie**
Studijní obor: **Informační technologie**

Název tématu: **Analýza přesnosti GPS přijímače**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Teoretická část:

Historie a vlastnosti globálních navigačních systémů - GNSS,

Design experimentu určení přesnosti GPS

Implementační část:

Z GPS přijímače uložit data, určit přesnost určení GPS polohy, porovnat s deklarovanou přesností přístroje.

Porovnat vzájemně přesnost více GPS přijímačů.

Rozsah grafických prací: Rozsah pracovní zprávy: Forma
zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

**Kubáček L., Kubáčková L.: Statistika a Metrologie, Olomouc 2000 Kunderová P.,:
Základy pravděpodobnosti a matematické statistiky, Olomouc 2004
Hojgr R., Stankovič J.: GPS - Praktická uživatelská příručka, Cpress, 2007**

Vedoucí bakalářské práce:

Mgr. Jana Heckenbergerová
Ústav elektrotechniky a informatiky

Datum zadání bakalářské práce:

30. listopadu 2007

Termín odevzdání bakalářské práce:

16. května 2008



A handwritten signature in blue ink, consisting of several loops and curves, representing the name Simeon Karamazov.

doc. Ing. Simeon Karamazov, Dr.
děkan

V Pardubicích dne 29. dubna 2008

SOUHRN

Práce je věnována analýze přesnosti GPS přijímačů. Návrhu statistických postupů pro výpočty a grafické znázornění odchylky GPS. K vytvoření aplikace pro analýzu dat z GPS přijímače byl použit programovací jazyk Java.

KLÍČOVÁ SLOVA

GPS, přesnost měření, teoretická analýza, grafická zobrazení

TITLE

Analysis of GPS receiver

ABSTRACT

The work deals with analysis of accuracy of measurement GPS receiver. Design statistic procedures for calculation a graphic representation of divergence GPS receiver. Program language Java was used for creating of application for analysis data from GPS receiver..

KEYWORDS

GPS, accuracy of measurement, teoretic analysis, graphic representation

OBSAH

1	<u>CÍL PRÁCE</u>	7
2	<u>GLOBALNÍ NAVIGAČNÍ SYSTÉMY</u>	7
2.1	GPS	7
2.1.1	PRINCIP URČENÍ POLOHY	8
2.1.2	KOSMICKÝ SEGMENT	9
2.1.3	ŘÍDÍCÍ SEGMENT	10
2.1.4	UŽIVATELSKÝ SEGMENT	10
2.1.5	KOLIK JE POTŘEBA DRUŽIC?	11
2.1.6	PŘESNOST URČENÍ POLOHY	12
2.1.7	PŘESNOST MĚŘENÍ VZDÁLENOSTI	13
2.1.8	PŘESNOST URČENÍ POLOHY DRUŽIC	13
2.1.9	VÝPOČET POLOHY	14
2.1.10	SHRnutí PŘESNOSTI	14
2.2	NAVIGAČNÍ SYSTÉM GALILEO	15
2.3	GLONASS	17
2.3.1	HISTORIE	17
2.3.2	POPIS SYSTÉMU	18
2.4	KOREKČNÍ SYSTÉMY	19
2.4.1	WASS	19
2.4.2	EGNOS	20
2.5	ROZDÍLY MEZI NAVIGAČNÍMI SYSTÉMY	20
2.5.1	GPS	20
2.5.2	GALILEO	20
2.5.3	GLONASS	21
3	<u>STATISTICKÉ VÝPOČTY</u>	21
3.1	NÁHODNÝ VÝBĚR A STATISTIKY ODVOZENÉ Z NÁHODNÉHO VÝBĚRU	21
3.1.1	POJEM NÁHODNÉHO VÝBĚRU	21
3.1.2	POJEM STATISTIKY, PŘÍKLADY DŮLEŽITÝCH STATISTIK	22
3.2	BODOVÉ A INTERVALOVÉ ODHADY PARAMETRŮ A PARAMETRICKÝCH FUNKCÍ	22
3.2.2	TYPY BODOVÝCH ODHADŮ	23
3.2.3	VLASTNOST DŮLEŽITÝCH STATISTIK	24
3.2.4	POJEM INTERVALU SPOLEHLIVOSTI	24
3.2.5	POSTUP PŘI KONSTRUKCI INTERVALU SPOLEHLIVOSTI	25
3.3	NÁHODNÝ VÝBĚR Z NORMÁLNÍHO ROZLOŽENÍ	26
3.3.1	ROZLOŽENÍ STATISTIK ODVOZENÝCH Z μ A Σ^2	26
3.3.2	INTERVALY SPOLEHLIVOSTI PRO PARAMETRY μ , Σ^2	26
3.4	POUŽITÉ VZORCE PRO INTERVALOVÉ ODHADY	27
4	<u>TESTOVANÝ GPS PŘIJÍMAČ</u>	28
4.1	ČÁSTI	28
4.2	TECHNICKÉ SPECIFIKACE GPS PŘIJÍMAČE	29
5	<u>ANALÝZA PŘESNOSTI GPS PŘIJÍMAČE</u>	30

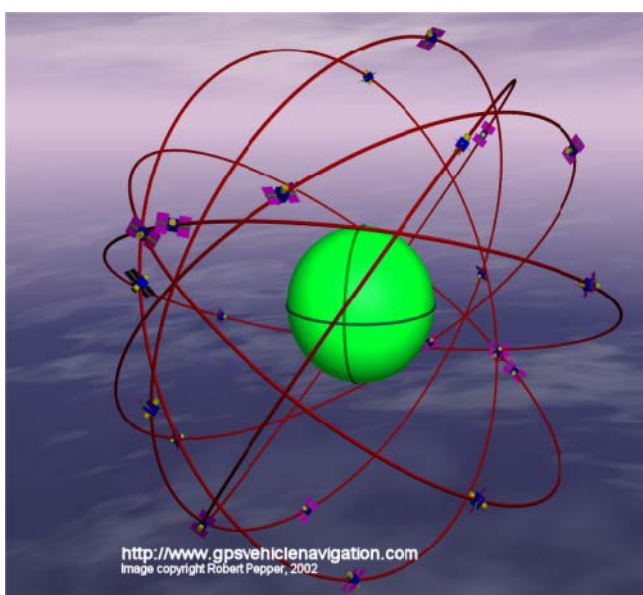
5.1	IMPLEMENTACE VZORCŮ DO JAZYKA JAVA	34
5.1.1	BODOVÉ ODHADY	34
5.1.2	INTERVALOVÉ ODHADY	38
5.1.3	VZDÁLENOST BODŮ	40
5.2	IMPLEMENTACE METOD PRO VYKRESLOVÁNÍ	40
6	ZÁVĚR	43
7	POUŽITÁ LITERATURA	46

1 Cíl práce

Úkolem je navrhnout aplikaci a statistické postupy pro analýzu přesnosti GPS přijímače ze zachycených poloh přijímače za přibližně půl hodiny měření. Aplikace by měla vypočítat a zobrazit nejen teoretické výsledky, ale také vše přehledně graficky prezentovat uživateli.

2 Globální navigační systémy

2.1 GPS



Obr. 1.: Schéma obíhání družic

Zkratka GPS v překladu znamená Global Positioning System. GPS je vojenský družicový navigační systém provozovaný Ministerstvem obrany Spojených států amerických. Tento systém dokáže určit polohu kdekoli na Zemi s přesností několika metrů. Tato přesnost lze zvýšit pomocí metod jako Diferenciální GPS až na přesnost jednoho centimetru.

Vývoj GPS začal v letech 1973 a postupně se začal rozšiřovat, až do 17. ledna 1994, kdy byla na oběžné dráze Země kompletní sestava 24 družic a byl spuštěn plně funkční a dostupný navigační systém po celém světě. V roce 1983 oznámil americký prezident Ronald Reagan, že po dokončení GPS bude dostupný i pro civilní účely. V současné době se systém využívá i v mnoha oborech lidské činnosti, které s armádou nesouvisí. Civilní uživatelé mohou k určení polohy používat takzvaný civilní C/A kód. Na provoz GPS se ročně vynakládá přibližně 400 milionů amerických dolarů.

2.1.1 Princip určení polohy

Zjednodušeně je GPS *družicový radiový dálkoměrný systém*

Dálkoměrný systém - poloha nějakého objektu určuje ze vzdáleností od bodů se známou polohou. Např. v krajině lze určit polohu pomocí mapy a dalekohledu, který umí změřit vzdálenost od pozorovaného objektu. Dalekohledem změříme vzdálenost ke dvěma význačným objektům a kružítkem na mapě nakreslíme kolem každého objektu kružnici o změřeném poloměru. Zjišťovaná poloha je zřejmě v jednom z průsečíků obou kružnic.

Radiový systém pro měření určitého parametru využívá radiových vln. „Radiový dálkoměrný“ systém k měření vzdálenosti využívá radiových vln takto: Do bodu se známou polohou je umístěn vysílač, který vysílá rádiové vlny s časovými značkami. V bodě, jehož poloha se měří, umístíme přijímač, který porovnává časové značky se svými „hodinami“. Tím je možno změřit *zpoždění*, tj. jak dlouho trvalo rádiové vlně, než k přijímači dorazila. Protože se rádiové vlny pohybují známou rychlostí (pro GPS výpočty definovanou jako rychlost světla v systému WGS 84, tj. 299 792 458 m/s), stačí pro výpočet požadované vzdálenosti vynásobit změřené zpoždění touto rychlostí.

Družicový je systém označován proto, že body se známou polohou jsou družice obíhající Zemi. Aby bylo možno určit polohu družic, musí být v jejich vysílání nejen časové značky, ale i parametry dráhy dané družice.

Celý systém GPS lze rozdělit do 3 segmentů:

- kosmický
- řídicí
- uživatelský

2.1.2 Kosmický segment



Obr.2.: Družice GPS

Kosmický segment je tvořen z 24 družic, z tohoto počtu jsou tři družice záložní. Družice obíhají Zemi v šesti drahách, sklon dráhy je 55° , vzájemně posunutých o 60° ve výšce 20 200 km nad zemským povrchem. Tím je dána doba oběhu družice kolem Země 11 hodin a 58 minut. Družice na své palubě nesou 3 až 4 atomové hodiny s přesností 10^{-13} , které jsou nezbytné pro funkci systému. Tyto hodiny obsahují cesiové a rubidiové oscilátory. Dále na palubě nesou detektory, které hlídají dodržování zákazu zkoušek nukleárních zbraní. Navigační signál je vysílán v pásmu L (1000 – 2000 MHz). Všechny družice vysílají na více kmitočtech, tím se zajistí odolnost vůči meteorologickým vlivům.

- Frekvence 1 (1575,42 MHz) – na této frekvenci se vysílá C/A kód a je dostupná všem civilním uživatelům.
- Frekvence 2 (1227,62 MHz) – na této frekvenci se vysílá vojenský šifrovaný P/Y kód, který je určen pouze pro autorizované uživatele.
- Frekvence 3 (1381,05 MHz) – tato frekvence obsahuje další signály, které slouží ke sledování odpalování balistických střel, odhalování jaderných výbuchů a dalších vysokoenergetických zdrojů v oblasti infračerveného záření.
- Frekvence 4 (1841,40 MHz) – tato frekvence je využívána k měření ionosférického zpoždění. K tomuto zpoždění dochází při průchodu signálu ionosférou a způsobuje větší odchylku polohy oproti skutečnosti. Tato chyba lze eliminovat tak, že toto zpoždění bude měřeno na dvou frekvencích.
- Frekvence 5 (1176,45 MHz) – tato frekvence je blokována pro projekt SoL – safety of life. V této oblasti není téměř žádné nebo jen velmi malé rušení za všech podmínek.

2.1.3 Řídicí segment



Obr.3.: Řídicí centrum

Systém GPS je řízen z ústředí Navstar Headquarters na letecké základně (AFB) Los Angeles v Californii v USA. Hlavní pozemní stanice se nachází na letecké základně Falcon v Coloradu a hlavní operační řídicí středisko na letecké základně Schriever v Coloradu, které provozuje letectvo Spojených států amerických (USAF), 2nd Space Operations Sq. Po světě je rozmístěno 5 dalších monitorovacích stanic (Havajské ostrovy, Kwajalein, Diego Garcia, Ascension, Colorado Springs) a 3 povelové stanice (Kwajalein, Diego Garcia, Ascension).

2.1.4 Uživatelský segment



Obr.4.: GPS přijímač TOMTOM

Uživatelský segment tvoří vlastní přijímač, které přijímají signály od družic. Minimální počet družic je jedna a maximální počet je 12. Z těchto signálů poté GPS přijímače určují jakou mají vůči nim polohu, rychlost a směr pohybu. Pro určení polohy je potřeba minimálně počet 3 družic a pro určení nadmořské výšky je potřeba minimálně počet 4 družic a pro určení času postačí pouze 1 družice. Čím více družic přijímač současně zachytí, tím je určení polohy přesnější.

Od počátku 90. let 20. století je GPS systém zdarma přístupný civilním uživatelům. Nejdříve byla do signálu zanášena umělá chyba, která způsobovala odchylku v rozmezí 100 m horizontálně a 140 m vertikálně. Tato metoda, která se nazývala *Selective Availability* (SA) měla zabránit zneužití GPS pro navádění balistických střel. USA se podařilo vyvinout systém, který uměl rušit lokálně signál GPS, proto se 1. května roku 2000 SA zrušilo a přesnost pro civilní segment se tak zvýšila na 5-10 metrů a za příznivých podmínek až na 3 metry.

Výrazně vyšší přesnosti, např. pro účely geodetů, lze dosáhnout tak, že porovnáme naměřené hodnoty s hodnotami, které naměříme referenčním pozemským přijímačem (tzv. Diferenciální GPS). Tímto způsobem lze dosáhnout přesnosti až na milimetry až centimetry. Korekční doplňková data jsou přenášena jiným kanálem než signál GPS. Přenáší se pomocí jiných družic či RDS nebo na dlouhých vlnách. Přijímač korekčních dat může být buď integrovaný v GPS přijímači nebo ho lze připojit externě. Další možnost jak zvýšit přesnost měření je naměřená data zpracovat na počítači. Této metodě se obecně říká postprocesing.

2.1.5 Kolik je potřeba družic?

Při určování polohy jsou známy vzdálenosti k družicím a poloha těchto družic. Je tedy možné sestavit několik rovnic o několika neznámých (poloha přijímače). Tato soustava rovnic dává jednoznačné řešení jen pokud je počet rovnic (měření) roven počtu neznámých. Na první pohled by se tedy zdálo, že k určení polohy ve třírozměrném prostoru stačí příjem signálů tří družic. Ve skutečnosti to však neplatí.

Zpoždění se měří tak, že se v přijímači porovnávají časové značky v přijímaném signálu s časovými značkami „hodin“ přijímače. Tedy např. když v čase 12 hodin 5 minut dojde k přijetí časové značky „12 hodin“, pak zpoždění je 5 minut. Tento postup dává správné výsledky jen tehdy, pokud jsou „hodiny“ přijímače zcela synchronní s „hodinami“ vysílače. Zdánlivě to není problém, protože je možno vyrobit relativně přesné hodiny. Přesnost však není dostačující. Jestliže se hodiny přijímače odchylují od hodin družice o jednu milisekundu a vzhledem k tomu, že zpoždění se násobí rychlostí světla, byla by chyba vzdálenosti téměř 300 km, což výsledek měření činí nepoužitelným. Aby k takovýmto chybám nedocházelo, považuje se odchylka hodin přijímače od hodin družic (družice mají velmi přesné 10^{-13} atomové hodiny a navíc je odchylka jejich hodin od systémového času GPS součástí

parametrů družice v navigační zprávě) za další neznámou. Proto místo tří (polohových) neznámých existují čtyři a pro jejich určení je třeba přijímat signály čtyř družic.

Přesto je běžné, že GPS přijímač začne navigovat již při příjmu signálu tří družic. Důvodem je, že většina uživatelů se nachází na zemském povrchu a proto jejich poloha není třírozměrná, ale dvourozměrná. Přijímače při příjmu signálů tří družic tedy předpokládají, že jsou na povrchu Země a určí tři neznámé (zeměpisná šířka, délka a odchylka hodin). Protože však povrch Země není zcela přesně definován (předpoklad koule je aproximace prvního stupně, druhá aproximace je rotační elipsoid s poloosami 6 378 a 6 356 km), má takto určená poloha poměrně velkou chybu a proto je v těchto situacích na displeji varovné hlášení typu „*2D navigation*“. Plnohodnotná navigace (označovaná *3D navigation*) začne až od příjmu signálu čtyř družic.

Jak je výše uvedeno, má systém GPS 24 družic a průměrně je v našich zeměpisných šířkách vidět (tj. jsou nad obzorem a lze přijímat jejich signál) 8 družic. Může se zdát, že úvahy o tom, zda jsou k dispozici 3 nebo 4, jsou neopodstatněné. To, že je družice nad obzorem, je však samo o sobě nedostatečné, protože se uživatel jen málokdy pohybuje ve zcela otevřeném terénu. Většinou je část oblohy do určitého úhlu (elevační maska) zakryta, čímž se může počet použitelných družic významně snížit.

2.1.6 Přesnost určení polohy

Výsledná přesnost určení polohy přijímače podléhá několika vlivům, které lze stanovit. Protože chyba polohy je náhodná veličina, musí se její velikost popisovat nějakým jejím statistickým parametrem. V navigaci se obvykle používá efektivní hodnota chyby (rms, *root mean square*), což je odmocnina z průměru kvadrátu chyby.

Při určení polohy se nejprve změří vzdálenost ke družicím, dále se vypočtou polohy družic a nakonec je vypočítána poloha přijímače. Z uvedeného postupu vyplývá, že přesnost polohy ovlivňuje:

- přesnost měření vzdálenosti
- přesnost určení polohy družic
- vlastní výpočet polohy

2.1.7 Přesnost měření vzdálenosti

Přesnost měření vzdálenosti je omezena několika faktory. Prvním z nich je atmosférický šum, který zkresluje přijímané signály a zabraňuje tak přesnému určení zpoždění. Jeho vliv způsobí na kmitočtu 1,57542 GHz (pro civilní sektor) chybu o směrodatné odchylce 7,5 m. Na kmitočtu 1,2276 GHz (pro vojenský sektor) je směrodatná odchylka této chyby 1,5 m.

Druhým faktorem je nepřesná znalost rychlosti šíření radiových vln, která je rovna rychlosti světla. Vlny se však nešíří vakuem, ale prochází zemskou atmosférou, v níž se průchodem troposférou a zejména ionosférou rychlost změní. Tato změna však není konstantní, ale mění se se stavem ionosféry (roční období, poloha Slunce atd.) a je závislá také na orientaci dráhy signálu. V přijímačích bývá implementován vhodný model, který tyto změny zohledňuje. Směrodatná odchylka chyby vzdálenosti v důsledku tohoto faktoru je pro civilní sektor 5 - 10 m. Pro vojenský sektor je tato chyba výrazně menší, v důsledku toho, že může používat signálu na obou kmitočtech. Protože změna rychlosti ionosférou je frekvenčně závislá, lze ji z měření na dvou kmitočtech eliminovat.

Třetím faktorem je vícecestné šíření signálu. Pokud se přijímač pohybuje v zástavbě, přijímá signály jednak přímo od družice, ale také signály odražené. Velikost této chyby je závislá na terénu, v němž se přijímač nachází.

2.1.8 Přesnost určení polohy družic

Algoritmus výpočtu polohy družice je popsán v definici GPS. Vstupem tohoto algoritmu jsou parametry dráhy družice, které jsou v signálu vysílaném družicí. Těmto parametrům říkáme efemeridy. Efemeridy zjišťují pozemní stanice systému GPS, které sledují družice a z jejich pohybu předpovídají efemeridy, které pak odesílají na družici a ta je zařazuje do svého vysílání. Jsou proto možné dva typy chyb - chyba v predikci efemerid a chyba pohybu družice. Směrodatná odchylka chyby vzdálenosti v důsledku chyby polohy družice je přibližně 4 m a je přirozeně stejná pro civilní i vojenský sektor.

2.1.9 Výpočet polohy

Výpočet polohy přijímače je v principu velice jednoduchý. Jelikož známe vzdálenosti družic od země a jejich polohu vůči zemi, je tedy možné sestavit několik rovnic o několika neznámých (polohou přijímače) a tuto soustavu rovnic vyřešit standardním matematickým postupem. Lze ukázat, že efektivní hodnota chyby takového určení polohy je dána součinem směrodatné odchylky určení vzdálenosti a koeficientu, který charakterizuje rozmístění družic na hemisféře (tento koeficient se nazývá *DOP* - *dilution of precision, rozptyl přesnosti*). Podobně efektivní hodnota horizontální chyby je dána součinem směrodatné odchylky určení vzdálenosti a koeficientu *HDOP*. Totéž platí pro efektivní hodnotu vertikální chyby, kde koeficient má označení *VDOP*.

Zatímco hodnota *HDOP* se mění se zeměpisnou polohou jen málo, mění se hodnota *VDOP* se zeměpisnou šířkou. V zeměpisné šířce $\pm 56^\circ$ dosahuje svého minima a s dalším zvyšováním zeměpisné šířky pak výrazně roste. Tento nárůst chyby ve vyšších zeměpisných šířkách je způsoben tím, že po překročení zeměpisné šířky, která je rovna inklinaci dráhy, již družice nedosahují nadhlavníku a kulminují ve stále nižších elevacích. Třídimenzionální chyba určení polohy prakticky sleduje průběh dominantní chyby výšky.

V našich zeměpisných šířkách lze očekávat průměrné hodnoty $DOP = 1,87$, přičemž $VDOP = 1,55$ a $HDOP = 1,05$.

2.1.10 Shrnutí přesnosti

Sloučením všech vlivů způsobujících chybu určení vzdálenosti, dostaneme směrodatnou odchylku vzdálenosti rovnou přibližně 12 metrům. Efektivní hodnota horizontální chyby (v našich zeměpisných šířkách, 5° masku elevace a civilního uživatele) je přibližně 12 metrů, zatímco efektivní vertikální chyba činí 19 metrů. To je však jen orientační číslo, vycházející z průměrné hodnoty *DOP*.

Standardní GPS přijímač udává velikost chyby polohy. Tento údaj je bezpochyby přesnější, neboť přijímač zná aktuální *DOP* družic, jejichž signál používá k určení polohy. Přesto může nastat situace, kdy skutečná chyba může přesáhnout uváděnou hodnotu a to proto, že skutečná chyba vzdálenosti převyšuje standardní hodnotu. Nejčastěji to bývá chyba vícecestného šíření, kterou přijímač nemůže odhalit, protože nedokáže určit, zda se uživatel nepohybuje v zástavbě, kde vznikají odrazy.

Výše uvedený postup určení polohy, tj. řešení soustavy rovnic s využitím měřením zpoždění v daný časový okamžik, je v přijímačích modifikován postupem, který bere v potaz i historii pohybu přijímače. Ten, jako každý fyzikální objekt, je ve svých pohybech limitován fyzikálními zákony a proto lze ke stanovení polohy využít i měření z předchozích časových okamžiků a tím snížit chybu udávané polohy. Takovým postupem, který se v GPS přijímačích standardně používá, je Kalmanova filtrace. (1)

2.2 Navigační systém Galileo

Galileo je globální družicový navigační systém, který bude plně vyvinut a provozován Evropou a jeho uvedení do provozu je plánováno na rok 2010. Bude využívat stejného principu jako nynější americký systém GPS a ruský GLONASS, se kterými se bude vzájemně doplňovat. Oba současné systémy jsou vojenské a ani jeden z provozovatelů nedává záruku, že v případě potřeby signály ze svých družic nevypne. Pokud by na jejich využívání byla založena některá z dopravních služeb, měl by takový čin nebezpečné důsledky pro její uživatele.

Již počátkem devadesátých let se objevily studie poukazující na potřebu vlastního evropského civilního družicového navigačního systému. Podobně jako tomu bylo v případě nosné rakety Ariane nebo velkokapacitního dopravního letadla Airbus, přijala Evropská unie rozhodnutí vybudovat vlastní navigační systém, který bude garantovat trvalou provozuschopnost, potřebnou pro využívání v krizových situacích.

Kompletní systém Galileo bude obsahovat 30 družic obíhajících ve třech rovinách po kruhových drahách ve výšce cca 23500 km. Každá z rovin dráhy bude svírat s rovinou rovníku úhel 56° , což umožní využívat navigační systém bez potíží až do míst ležících na 75° zeměpisné šířky. Velký počet družic, z nichž tři budou záložní, zajistí spolehlivou funkci systému i když některá družice přestane správně pracovat. Galileo umožní každému držiteli přijímače signálu určit jeho aktuální polohu s přesností lepší než jeden metr. Jeho služby budou natolik spolehlivé, že na jeho základě bude možné řídit jízdu vlaků, navádět řidiče automobilů a dovést letadla na přistávací dráhu.

Evropský civilní družicový navigační systém GALILEO bude poskytovat celkem 5 druhů služeb :

- Základní služba (Open Service)

- Služba "kritická" z hlediska bezpečnosti (Safety of Life service)
- Komerční služba (Commercial Service)
- Veřejně regulovaná služba (Public Regulated Service)
- Vyhledávací a záchranná služba (Search And Rescue service)

Základní služby budou přístupné všem uživatelům bez omezení. Komerční služby budou přístupné placícím uživatelům a ostatní služby jsou určeny pouze pro autorizované uživatele, např. ozbrojené a policejní složky.

Systém GALILEO by měl nalézt využití z 80% především v sektoru dopravy v aplikacích vázaných na informaci o zeměpisné poloze. Díky využití dat o poloze vozidel k on-line informacím o dopravní situaci nebo pro vlastní řízení silničního provozu je možné předcházet kritickým dopravním situacím. Silniční a železniční dopravci budou schopni efektivněji monitorovat pohyb svých nákladních automobilů, železničních vozů nebo kontejnerů a také efektivněji potírat krádeže a podvody.

GALILEO přináší prospěch i v oblastech mimo dopravu, např.: přesné měření času, lokalizace nehod pro opravu produktovodů, inteligentní zemědělství, ochrana osob proti kriminalitě, aj. Dále také může sloužit k měření deformací, k přesnému určení překážky na dně řeky, ke sledování skládek nebezpečných odpadů, k přesnému sledování pohybu mraků exhalací a oblaků radioaktivních látek, ke sledování a evidování svozu komunálního odpadu, k přesnému určení a opakovanému vyhledání lokality vzácných a chráněných rostlin nebo ke sledování pohybu zvířat.

Kromě uvedených navigačních služeb budou družice systému Galileo poskytovat i služby nouzové lokalizace v rámci celosvětové družicové záchranné služby Sarsat/Kospas. Oproti ní družice oznámí trosečnickovi, že jeho signály byly zachyceny a lokalizovány.

Přibližně ve stejné době jako Galileo chtějí Američané spustit novou generaci svého projektu GPS. Číňané by rádi uspěli se svou soustavou navigačních družic Kompas a Rusové s projektem Glonass. Galileo a GPS II mají být slučitelné.

Služby družicové navigace jsou velmi perspektivní. Okolo roku 2020 bude na ně každoročně vynakládáno na celém světě 50 miliard euro. Možnosti využití této služby jsou velmi široké a nové aplikace se stále vynořují, záleží na nápaditosti provozovatelů i uživatelů.

Integrace kosmické navigace se snímkováním zemského povrchu umožní v budoucnosti velmi efektivně řídit záchranné práce při všech možných přírodních a průmyslových neštěstích. (3)

2.3 Glonass

Je radiový družicový navigační systém provozovaný dříve Sovětským svazem, nyní Ruskem. GLONASS je obdobou amerického GPS a evropského navigačního systému Galileo a je provozován ruskou vládou skrze Úřad ruských vojenských vesmírných sil.

2.3.1 Historie

Sovětský svaz

Plán pro vývoj systému GLONASS byl schválen v prosinci 1976 rozhodnutím centrální komise komunistické strany sovětského svazu a radou ministrů SSSR. Jméno pro všechny družice bylo zvoleno Uragan, následované číslem pro provozní družice anebo zkratkou GVM pro testovací družice. První dvě testovací a jedna provozní družice byly umístěny na oběžnou dráhu 12. října 1982. Celkově do roku 1991 bylo Sovětským svazem vypuštěno 44 provozních a 8 testovacích družic systému GLONASS. V roce 1991 bylo na oběžné dráze ve dvou rovinách dvanáct družic, což stačilo pro omezený provoz systému.

Rusko

Vývoj systému GLONASS byl po rozpadu Sovětského Svazu převzat jeho nástupnickou zemí - Ruskem. Plná provozuschopnost systému byla plánována na rok 1991. Poté bylo 24. září 1993 oznámeno, že je systém kompletní, nicméně konstelace byla doopravdy dokončena až v prosinci roku 1995. Díky špatné ekonomické situaci v Rusku však bylo v dubnu 2002 v provozu pouze osm družic, takže fakticky byl celý systém jako globální navigační nástroj nepoužitelný. Situace se změnila 20. srpna 2001, kdy byl ruskou vládou schválen federální program "Globální navigační systém". Podle něj by měl být systém plně funkční (tzn. plný počet 24 družic na oběžné dráze) do roku 2011 (podle nejnovějších zpráv

již v roce 2009, a to díky intenzivnímu tlaku ze strany ruského prezidenta Vladimira Putina). 31. prosince 2006 bylo na oběžné dráze 16 družic, z toho 6 "dočasně vypnuto". Další tři družice byly vyneseny na oběžnou dráhu o šest dní dříve, tj. 25. prosince 2006 (nezapočítány do celkového počtu), v současné době by měly být již aktivovány. Od roku 1992 Rusko celkem vypustilo 44 družic typu Uragan. Pro rok 2007 se počítá s vypuštěním šesti družic, v roce 2008 pak s dalšími pěti. Federální rozpočet počítá s vyčleněním částky na systém Glonass odpovídající 181 milionů dolarů v roce 2006 a 380 milionů dolarů v roce 2007.

V současné době nejstarší družice v provozu byla vypuštěna v roce 2000 a výrazně tak překračuje plánovanou životnost tři let. Před pár lety byla vyvinuta vylepšená verze družice Uragan zvaná Uragan-M s operační životností 7 let. Dvě družice tohoto typu byly vypuštěny v roce 2005. Ještě novější družice Uragan-K se sníženou hmotností a prodlouženou životností na 10 až 12 let, bude připravena k vypuštění v roce 2008. Snížení její hmotnosti oproti Uragan-M o polovinu výrazně sníží dopravní náklady, protože se budou moci použít pro její dopravu na orbit nosné rakety Sojuz-U. Do současné doby byly pro družice Uragan používány mnohem výkonnější rakety Proton.

Rusko také pro dokončení systému využívá dohody s indickou vládou, která slíbila vypustit dvě Uragan-M družice pomocí svých GLSV raket. Dohoda byla uzavřena během prosincového summitu v roce 2005 mezi indickým ministerským předsedou Manmohanem Singhem a ruským prezidentem Vladimírem Putinem. Jejím hlavním účelem sdílení nákladů na vývoj Uraganu-K a následné vypouštění těchto družic z indických odpalovacích ramp.

Rusko po několik let během čečenského konfliktu nechalo oběžné dráhy GLONASS družic optimalizované na ideální pokrytí území Čečenska, čímž ovšem výrazně zhoršilo pokrytí kdekoli jinde na světě.

Dostupnost systému GLONASS v Rusku byla 33.3% a ve světě 27.2%. To znamená, že alespoň 4 družice jsou viditelné 27.2% části dne kdekoli na Zemi. to není zas tak špatné pokud se vezme v úvahu, že provozuschopných družic je jen 10 (z 24) .

2.3.2 Popis systému

Charakteristickým znakem GLONASS konstelace je její identické opakování rozmístění družic kolem Země každých osm dní. Každá orbitální rovina obsahuje 8 družic, po

jednom hvězdném dni v ní dochází k neidentickému opakování rozmístění družic, to znamená, že jiná družice zaujme stejné místo jako předchozí. Tímto se GLONASS liší od GPS, kde dochází k identickému opakování během periody rovnající se jednomu hvězdnému dni.

Při nejvyšším stupni dokončení systém poskytoval standardní určení polohy a času charakterizované takto: horizontální polohová přesnost mezi 57-70 metrů, vertikální přesnost do 70 metrů, přesnost vektoru rychlosti do 15 cm/s a určení času do 1 μ s. Tyto údaje platily, pokud měření bylo výsledkem příjmu signálů od 4 družic najednou. O dost přesnější signál byl k dispozici jen ruské armádě. Ruský ministr obrany Sergej Ivanov v listopadu 2006 prohlásil, že vojenský signál bude k dispozici k civilnímu použití již na začátku roku 2007.

Stejně jako u GPS se kompletní GLONASS konstelace skládá z 24 družic, z nichž 21 bude v provozu a 3 budou záložní (každá v jedné ze tří oběžných rovin). V každé rovině má být osm družic, identifikovatelné pomocí pozičního čísla. Roviny oběžných drah jsou vzájemně posunuty o 120° podél roviny rovníku, družice v jedné rovině jsou vzájemně posunuty o 45°. Oběžné dráhy jsou přibližně kruhové se sklonem k rovině rovníku 64,8° a hlavní poloosou o délce 25,440 km.

Družice systému GLONASS obíhají Zemi ve výšce 19,100 km (pro srovnání GPS družice ve výšce cca 20 000 km). Každá družice oběhne Zemi každých 11 hodin a 15 minut. Uragan družice budou rozmístěné na oběžných drahách tak, aby minimálně 5 jich bylo kdykoli viditelné z jakéhokoli místa na Zemi.

Družice Uragan vysílají dva typy signálů: o standardní přesnosti a vysoké přesnosti.
(4)

2.4 Korekční systémy

2.4.1 WAAS

WAAS (Wide Area Augmentation System) je systém, který doplňuje a vylepšuje vlastnosti GPS v Americe. Jeho hlavní přínosy jsou přesnější určení polohy a včasné varování pro případ poruchy některé družice GPS. Obdobou tohoto systému je v Evropě systém EGNOS a v Japonsku MSAS a Glonass - Ruský navigační systém.

2.4.2 EGNOS

EGNOS je společným projektem Evropské kosmické agentury, Evropské Komise a Eurocontrol, Evropské organizace pro bezpečnost leteckého. EGNOS je prvním evropským projektem v oblasti družicové navigace a jeho úkolem je „vylepšovat“ dva v současné době funkční vojenské družicové navigační systémy – americký GPS a ruský GLONASS. EGNOS umožní, aby systémy GPS a GLONASS byly použitelné pro aplikace při kterých je důležitá spolehlivost dat určení polohy a jejich vyšší přesnost, jako například při pilotování letadla nebo navigaci lodí v úzkých kanálech.

EGNOS je prvním evropským příspěvkem do rodiny globálních navigačních družicových systémů a hlavně předchůdcem systému Galileo. Původně měl být zprovozněn 1. května 2004. Od té doby se slibovaný termín několikrát posunul - léto 2004, někdy v roce 2004, 1. leden 2005, někdy v roce 2005. Testovací signály vysílané družicemi Inmarsat od července 2005 však již nyní umožňují potencionálním uživatelům seznámit se s možnostmi systému a testovat jeho užitečnost. (5)

2.5 Rozdíly mezi navigačními systémy

2.5.1 GPS

GPS (Global Positioning System) je jediným prozatím funkčním navigačním systémem, který spravuje americké Ministerstvo obrany. Nápad vznikl roku 1973 a zpočátku byl systém určen jen pro vládní a armádní účely, ale roku 1983, kdy došlo k tragické nehodě, při níž sovětská stíhačka sestřelila korejské dopravní letadlo, prohlásil Ronald Reagan, že bude systém GPS zpřístupněn i civilním potřebám. Systém byl plně uveden do provozu roku 1994, kdy bylo na oběžnou dráhu umístěno všech 24 družic, které obíhají kolem Země ve výšce 20350 km se sklonem 55° a jsou vzájemně posunuté o 60°. Jak již bylo zmíněno, GPS je jediným plně funkčním systémem, a tak je prozatím používán všemi, kteří navigaci k něčemu potřebují.

2.5.2 GALILEO

Galileo je společným projektem Evropské unie, díky němuž se snaží konkurovat americkému GPS. Systém má být provozuschopný až v roce 2010 a má ho tvořit 27 družic se

sklonem k zemi 56° a vzdáleností oběhu cca 23000 km. Evropská unie si od tohoto projektu slibuje velký úspěch a zákazníci chce navnadit především na kvalitnější a přesnější určování pozice a větší světové pokrytí. Šanci výrazně se zapojit do projektu má i Česká republika, která nyní žádá o plnohodnotné členství v ESA (Evropská vesmírná agentura); nyní má totiž pouze jakousi dočasnou smlouvu na pět let.

2.5.3 GLONASS

GLONASS je ruský (dříve sovětský) navigační systém, který byl naplánován už roku 1976. Spuštění systému ale provázely potíže, a tak roku 1991, kdy měl být systém spuštěn naplno, bylo na oběžné dráze pouze 12 družic, což zajišťovalo částečnou funkčnost systému. Rusko si od GLONASSu slibuje především vojenské využití, služby tohoto systému využilo například ve sporech o Čečensko. Tento navigační systém tvoří, stejně jako ten americký, 24 družic, z nichž jsou tři záložní, které obíhají kolem země se sklonem $64,8^\circ$ ve výšce 25000 km. Očekávané plnohodnotné spuštění systému, pokud nenastanou další problémy, se plánuje na rok 2009, takže můžeme v tomto období čekat velkou konkurenci na poli navigačních systémů. (2)

3 Statistické výpočty

3.1 Náhodný výběr a statistiky odvozené z náhodného výběru

3.1.1 Pojem náhodného výběru

Definice. Necht' X_1, \dots, X_n jsou stochasticky nezávislé náhodné veličiny, které mají všechny stejné rozložení $L(\theta)$. Řekneme, že X_1, \dots, X_n je náhodný výběr rozsahu n z rozložení $L(\theta)$.

Poznámka. Číselné realizace x_1, \dots, x_n náhodného výběru X_1, \dots, X_n uspořádané do sloupcového vektoru představují datový soubor.

Definice. Necht' $(X_1, Y_1), \dots, (X_n, Y_n)$ jsou stochasticky nezávislé dvourozměrné náhodné vektory se stejným dvourozměrným rozložením $L_2(\theta)$. Řekneme, že $(X_1, Y_1), \dots, (X_n, Y_n)$ je dvourozměrný náhodný výběr rozsahu n z dvourozměrného rozložení $L_2(\theta)$.

Poznámka. Číselné realizace $(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$ náhodného výběru $(X_1, Y_1), \dots, (X_n, Y_n)$ uspořádané do matice $n \times 2$ představují dvourozměrný datový soubor.

Analogicky lze definovat p -rozměrný náhodný výběr rozsahu n z p -rozměrného rozložení $L_p(\theta)$.

3.1.2 Pojem statistiky, příklady důležitých statistik

Definice. Libovolná funkce $T = T(X_1, \dots, X_n)$ náhodného výběru X_1, \dots, X_n se nazývá statistika.

Definice. Nechť X_1, \dots, X_n je náhodný výběr, $n \leq 2$. Pak statistika $x_{prum} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ se nazývá

výběrový průměr, $S_n^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - x_{prum})^2$ se nazývá výběrový rozptyl

a $S_n = \sqrt{S_n^2}$ se nazývá výběrová směrodatná odchylka.

3.2 Bodové a intervalové odhady parametrů a parametrických funkcí

Vycházíme z náhodného výběru X_1, \dots, X_n z rozložení $L(\theta)$, které závisí na parametru θ . Množinu všech přípustných hodnot tohoto parametru označíme Ξ .

Parametr θ neznáme a chceme ho odhadnout pomocí daného náhodného výběru.

Bodovým odhadem parametrické funkce $h(\theta)$ je statistika $T_n = T(X_1, \dots, X_n)$, která nabývá hodnot blízkých $h(\theta)$, ať je hodnota parametru θ jakákoliv.

Poznámka. Existují různé metody, jak konstruovat bodové odhady a také různé typy bodových odhadů. Omezíme se na odhady nestranné, asymptoticky nestranné a konzistentní.

Oboustranným intervalovým odhadem parametrické funkce $h(\theta)$ rozumíme interval (D, H) , jehož meze jsou statistiky $D=D(X_1, \dots, X_n)$, $H=H(X_1, \dots, X_n)$ a který s dostatečně velkou pravděpodobností pokrývá $h(\theta)$, ať je hodnota parametru jakákoliv. Analogicky zavedeme dolní a horní odhad parametrické funkce $h(\theta)$.

3.2.2 Typy bodových odhadů

Definice. Necht' X_1, \dots, X_n je náhodný výběr z rozložení $L(\theta)$, $h(\theta)$ je parametrická funkce T, T_1, T_2, \dots jsou statistiky.

1. Řekneme, že statistika T je nestranným odhadem parametrické funkce $h(\theta)$ jestliže:

$$\forall \theta \in \Xi : E(T) = h(\theta).$$

Poznámka. Význam nestrannosti spočívá v tom, že odhad T nesmí parametrickou funkci $h(\theta)$ systematicky nadhodnocovat ani podhodnocovat. Není-li tato podmínka splněna, jde o vychýlený odhad.

2. Jsou-li T_1, T_2 nestranné odhady téže parametrické funkce $h(\theta)$, pak řekneme, že T_1 je lepší odhad než T_2 , jestliže

$$\forall \theta \in \Xi : D(T_1) < D(T_2).$$

3. Posloupnost $\{T_n\}_{n=1}^{\infty}$ se nazývá posloupnost asymptoticky nestranných odhadů parametrické funkce $h(\theta)$, jestliže

$$\forall \theta \in \Xi : \lim_{n \rightarrow \infty} E(T_n) = h(\theta).$$

Poznámka. Význam asymptotické nestrannosti spočívá v tom, že s rostoucím rozsahem výběru klesá vychýlení odhadu.

4. Posloupnost $\{T_n\}_{n=1}^{\infty}$ se nazývá posloupnost konzistentních odhadů parametrické funkce $h(\theta)$, jestliže

$$\forall \theta \in \Xi \forall \varepsilon > 0 : \lim_{n \rightarrow \infty} P(|T_n - h(\theta)| > \varepsilon) = 0$$

Poznámka. Význam konzistence spočívá v tom, že s rostoucím rozsahem výběru klesá pravděpodobnost, že odhad bude realizovat „daleko“ od parametrické funkce $h(\theta)$.

Věta. Z nestrannosti odhadu vyplývá jeho asymptotické nestrannost a z asymptotické nestrannosti vyplývá konzistence, pokud posloupnost rozptylů odhadu konverguje k nule.

3.2.3 Vlastnost důležitých statistik

Věta. Nechť X_1, \dots, X_n je náhodný výběr z rozložení se střední hodnotou μ , rozptylem σ^2 a distribuční funkcí $\Phi(x)$ Nechť $n \geq 2$. Označme M_n výběrový průměr, S_n^2 výběrový rozptyl a pro libovolné, ale pevně dané $x \in R$ označme $F_n(x)$ hodnotu distribuční funkce.

Pak M_n je nestranným odhadem μ s rozptylem $D(M_n) = \frac{\sigma^2}{n}$, S_n^2 je nestranným odhadem σ^2 , ať jsou hodnoty parametru μ , σ^2 jakékoli.

3.2.4 Pojem intervalu spolehlivosti

Definice. Nechť X_1, \dots, X_n je náhodný výběr z rozložení $L(\theta)$, $h(\theta)$ je parametrická funkce, $\alpha \in (0,1)$, $D=D(X_1, \dots, X_n)$, $H=H(X_1, \dots, X_n)$ jsou statistiky.

1. Interval (D, H) se nazývá $100(1-\alpha)\%$ (oboustranný) interval spolehlivosti pro parametrickou funkci $h(\theta)$, jestliže:

$$\forall \theta \in \Xi : P(D < h(\theta) < H) \geq 1 - \alpha$$

2. Interval (D, ∞) se nazývá $100(1-\alpha)\%$ levostranný interval spolehlivosti pro parametrickou funkci $h(\theta)$, jestliže:

$$\forall \theta \in \Xi : P(D < h(\theta)) \geq 1 - \alpha$$

3. Interval $(-\infty, H)$ se nazývá $100(1-\alpha)\%$ pravostranný interval spolehlivosti pro parametrickou funkci $h(\theta)$, jestliže

$$\forall \theta \in \Xi : P(h(\theta) < H) \geq 1 - \alpha$$

Číslo α se nazývá riziko, číslo $1-\alpha$ se nazývá spolehlivost.

3.2.5 Postup při konstrukci intervalu spolehlivosti

Celý postup se dá rozdělit do několika kroků:

1. Vyjdeme ze statistiky V , která je nestranným bodovým odhadem parametrické funkce $h(\theta)$.
2. Najdeme tzv. pivotovou statistiku W , která vznikne transformací statistiky V , je monotónní funkcí $h(\theta)$ a přitom její rozložení je známé a na $h(\theta)$ nezávisí. Pomocí známého rozložení pivotové statistiky W najdeme kvantily $w_{\alpha/2}, w_{1-\alpha/2}$, takže platí:

$$\forall \theta \in \Xi : P(w_{\alpha/2} < W < w_{1-\alpha/2}) \geq 1 - \alpha$$

3. Nerovnost $w_{\alpha/2} < W < w_{1-\alpha/2}$ převedeme ekvivalentními úpravami na nerovnost $D < h(\theta) < H$.
4. Statistiky D, H nahradíme jejich číselnými realizacemi d, h a získáme tak $100(1-\alpha)\%$ empirický interval spolehlivosti, o němž prohlásíme, že pokrývá $h(\theta)$ s pravděpodobností aspoň $1-\alpha$

Poznámka. Tvrzení, že (d, h) pokrývá $h(\theta)$ s pravděpodobností aspoň $1-\alpha$ je třeba chápat takto: jestliže mnohonásobně nezávisle získáme realizaci x_1, \dots, x_n náhodného výběru X_1, \dots, X_n z rozložení $L(\theta)$ a pomocí každé této realizace sestrojíme $100(1-\alpha)\%$ empirický interval spolehlivosti pro $h(\theta)$, pak podíl počtu těch intervalů, které pokrývají $h(\theta)$, k počtu všech sestrojených intervalů bude přibližně $1-\alpha$.

3.3 Náhodný výběr z normálního rozložení

Mnoho náhodných veličin, s nimiž se setkáváme ve výzkumu i praxi, se řídí normálním rozložením. Za jistých předpokladů obsažených v centrální limitní větě se dá rozložení jiných náhodných veličin aproximovat normálním rozložením. Proto je zapotřebí věnovat velkou pozornost právě náhodným výběrům z normálního rozložení.

3.3.1 Rozložení statistik odvozených z μ a σ^2

Věta. Necht' X_1, \dots, X_n je náhodný výběr z rozložení $N(\mu, \sigma^2)$. Pak platí

1. Výběrový průměr M a výběrový rozptyl S^2 jsou stochasticky nezávislé.

$$2. \quad M \sim N\left(\mu, \frac{\sigma^2}{n}\right), \text{ tedy } U = \frac{M - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}} \sim N(0,1).$$

Pivotová statistika U slouží k řešení úloh o μ , když σ^2 známe.

$$3. \quad K = \frac{(n-1)S^2}{\sigma^2} \sim \chi^2(n-1).$$

Pivotová statistika U slouží k řešení úloh o μ , když σ^2 neznáme.

$$4. \quad \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \mu)^2}{\sigma^2} \sim \chi^2(n)$$

Pivotová statistika slouží k řešení úloh o σ^2 , když μ neznáme.

$$5. \quad T = \frac{M - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}} \sim t(n-1)$$

Pivotová statistika T slouží k řešení úloh o μ , když σ^2 neznáme.

3.3.2 Intervaly spolehlivosti pro parametry μ , σ^2

Uvedeme přehled vzorců pro meze $100(1-\alpha)\%$ empirických intervalů spolehlivosti pro parametry jednoho normálního rozložení:

Věta. 1. Interval spolehlivosti pro μ , když σ^2 známe

$$(d, h) = \left(m - \frac{\sigma}{\sqrt{n}} u_{1-\alpha/2}, m + \frac{\sigma}{\sqrt{n}} u_{1-\alpha/2} \right)$$

2. Interval spolehlivosti pro μ , když σ^2 neznáme.

$$(d, h) = \left(m - \frac{s}{\sqrt{n}} t_{1-\alpha/2}(n-1), m + \frac{s}{\sqrt{n}} t_{1-\alpha/2}(n-1) \right)$$

3. Interval spolehlivosti pro σ^2 , když μ neznáme.

$$(d, h) = \left(\frac{(n-1)s^2}{X_{1-\alpha/2}^2}, \frac{(n-1)s^2}{X_{\alpha/2}^2} \right)$$

4. Interval spolehlivosti pro σ^2 , když μ známe.

$$(d, h) = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}{X_{1-\alpha/2}(n)}, \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}{X_{\alpha/2}(n)} \right) \quad (6)$$

3.4 Použité vzorce pro intervalové odhady

Výpočet hranice 95% intervalu spolehlivosti - střední hodnoty .

$$(d, h) = \left(\bar{x} - \frac{s}{\sqrt{n}} t_{1-\alpha/2}(n-1), \bar{x} + \frac{s}{\sqrt{n}} t_{1-\alpha/2}(n-1) \right)$$

Pro znázornění není příliš vhodný, kvůli velkému počtu vstupních hodnot.

Hranice 95% - Sigma

$$(d, h) = \left(\bar{x} - s, \bar{x} + s \right)$$

Hranice 95% δ se spočítají tak, že dolní hranice je rovna rozdílu průměru a odchylky a horní hranice je rovna součtu průměru a odchylky.

Hranice 95% - boxplot

Hranice se určí tak, že vezmeme vstupní data a seřídíme je podle velikosti. Z nich pak vezmeme 95% hodnot. V našem případě tomu odpovídá: dolní hranice je hodnota prvku na indexu 62 a horní hranice je hodnota prvku na indexu 2390.

4 Testovaný GPS přijímač

Dlouhou dobu jsme nemohli sehnat GPS přijímač, který by splňoval naše požadavky, zejména na přesnost měřených souřadnic. Nakonec jsme měli možnost provést měření v Laboratoři inteligentních systémů Českých drah v Pardubicích. Měření a následné ukládání hodnot obstaral GPS přijímač Z-Max.net.

4.1 Části



Receiver module – obsahuje GNSS přijímač, paměťovou kartu, přední panel s displejem, externí seriový port, usb port a napájecí port.

Obr. 5.: receiver



GNSS Antenna module – obsahuje GNSS anténu, která umožňuje Z-max.net receiveru přijímat signál z GPS družic. Připojuje se bez kabelů přímo k receiveru. Je navržena pro optimální příjem signálů z družic.

Obr.6.: Anténa GNSS



Napájecí modul je primárním zdrojem energie pro GPS přijímač. Má kapacitu 8.8 Ampérhodin a je složen z nabíjecích Lithim-Iontových článků.

S tímto modulem je GPS přijímač v provozu až 13 hodin. Napájecí modul se skládá z článků a z „chytré“ technologie, která sleduje stav jednotlivých článků a informuje o něm uživatele.

Obr.7.: Napájecí modul



Komunikační modul zajišťuje veškerou komunikaci a přenos dat mezi GPS přijímačem a aplikacemi pracující s GPS přijímačem.

Obr.8.: Komunikační modul

4.2 Technické specifikace GPS přijímače

Parameter	Specification
Physical	Memory - 48 hours of 1-sec raw GPS data with 64 MB Secure Digital - 128-MB SD card available I/O Interface - RS232, RS232/422, USB, Bluetooth
Environmental	Receiver - Operating temperature: -30° to +55°C (-22° to +131°F) - Storage temperature: -40° to +85°C (-40° to +185°F) - Meets IP54 for moisture - Shock: 1.5 m (4.92 ft) pole drop - Vibration: MIL-STD-810F Method 514.4 (I-3.1.1, I-3.4.8, I-3.4.9)
Power	- Max-Run battery life time > 14 hrs. - 10-28 V DC input - Regulated 12-V DC output on serial ports
Field Terminal Language Support	English, French, German, Spanish
System Components	Standard - Z-Max.Net GPS receiver - GPS antenna - Power module, charger included - System bag - Hard-shell shipping case Communication modules (3) - Magellan UHF - Pacific Crest UHF - GSM/GPRS Tri-band

	<ul style="list-style-type: none"> - GSM/GPRS Dual-band (US) - GSM/GPRS EU + Magellan UHF - GSM/GPRS EU + PacCrest UHF - GSM/GPRS US + Magellan UHF - GSM/GPRS US + PacCrest UHF Field terminal kit with FAST Survey (3) <ul style="list-style-type: none"> - Magellan MobileMapper CE - Juniper Allegro CX Other (3) <ul style="list-style-type: none"> - Magellan UHF transmitter kit - Pacific Crest transmitter kit - RTK rover backpack kit - Rechargeable battery kit
--	--

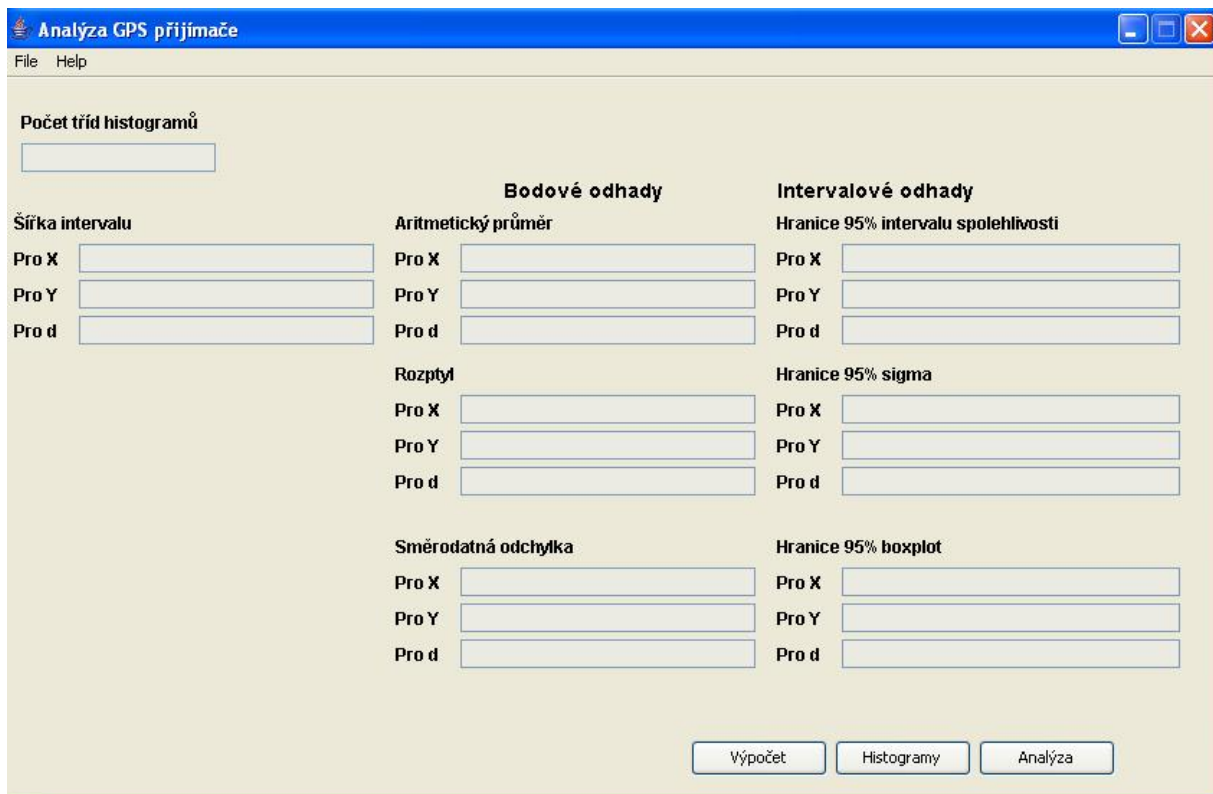
Tabulka 1.: Technické parametry

5 Analýza přesnosti GPS přijímače

Úkolem je vytvořit aplikaci, která by z uložených dat spočítala bodové a intervalové odhady a graficky provedla analýzu těchto dat. K měření jsme použili GPS přijímač Z-max.net. Přijímač jsme nastavili do základního režimu bez veškerých korekčních metod a pomocí počítače jsme ukládali zeměpisnou šířku a délku po dobu zhruba půl hodiny s intervalem jedné vteřiny. Takto jsme získali 2451 hodnot pro zpracování.

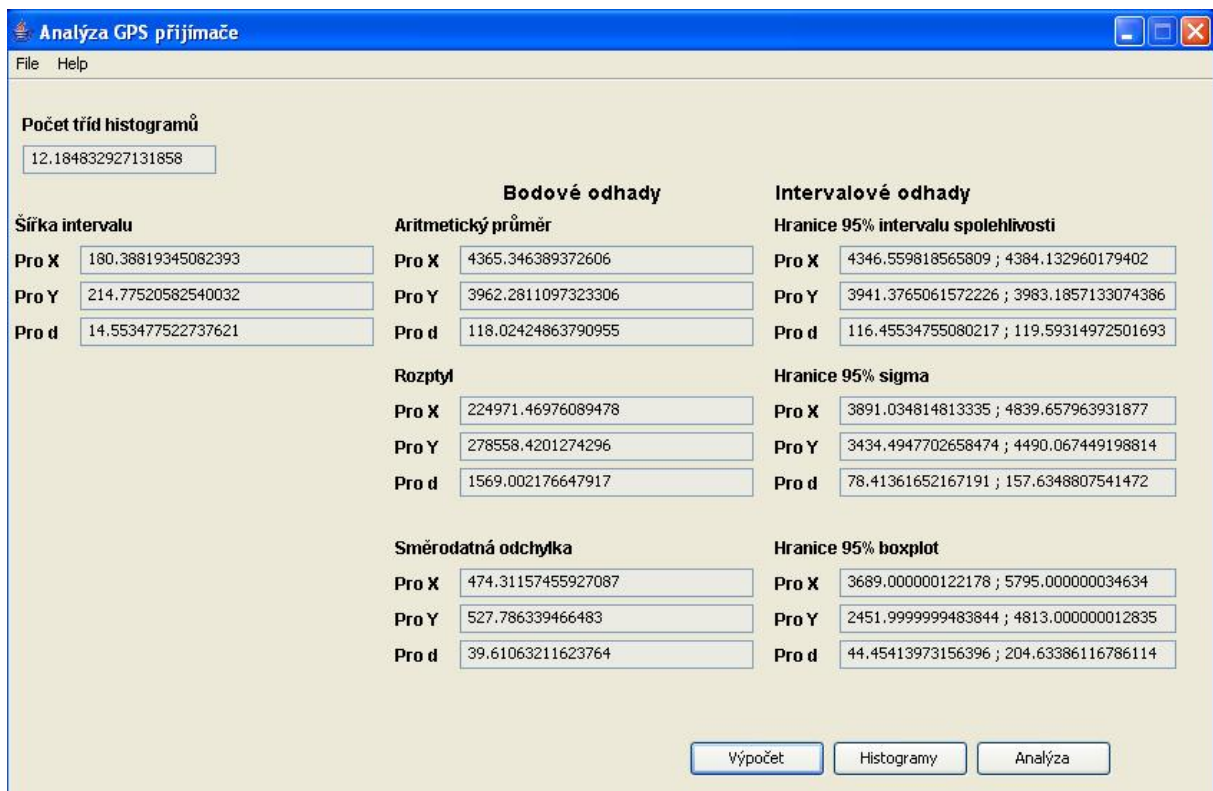
Rozhodl jsem se pro programovací jazyk JAVA, který je moderní, multiplatformní a srozumitelný. Celý vývoj probíhal v grafickém prostředí programu Jdeveloper od firmy Oracle.

Aplikace má jedno hlavní okno, kde je menu, záložka nápovědy, panel s textovými poli pro zobrazení výsledků výpočtů a tři tlačítka. V menu aplikace je na výběr otevřít a konec. Položka otevřít zobrazí dialogové okno pro načtení souboru se zeměpisnými souřadnicemi z GPS. Položka konec ukončí aplikaci. Záložka help zobrazuje název projektu a autora aplikace.



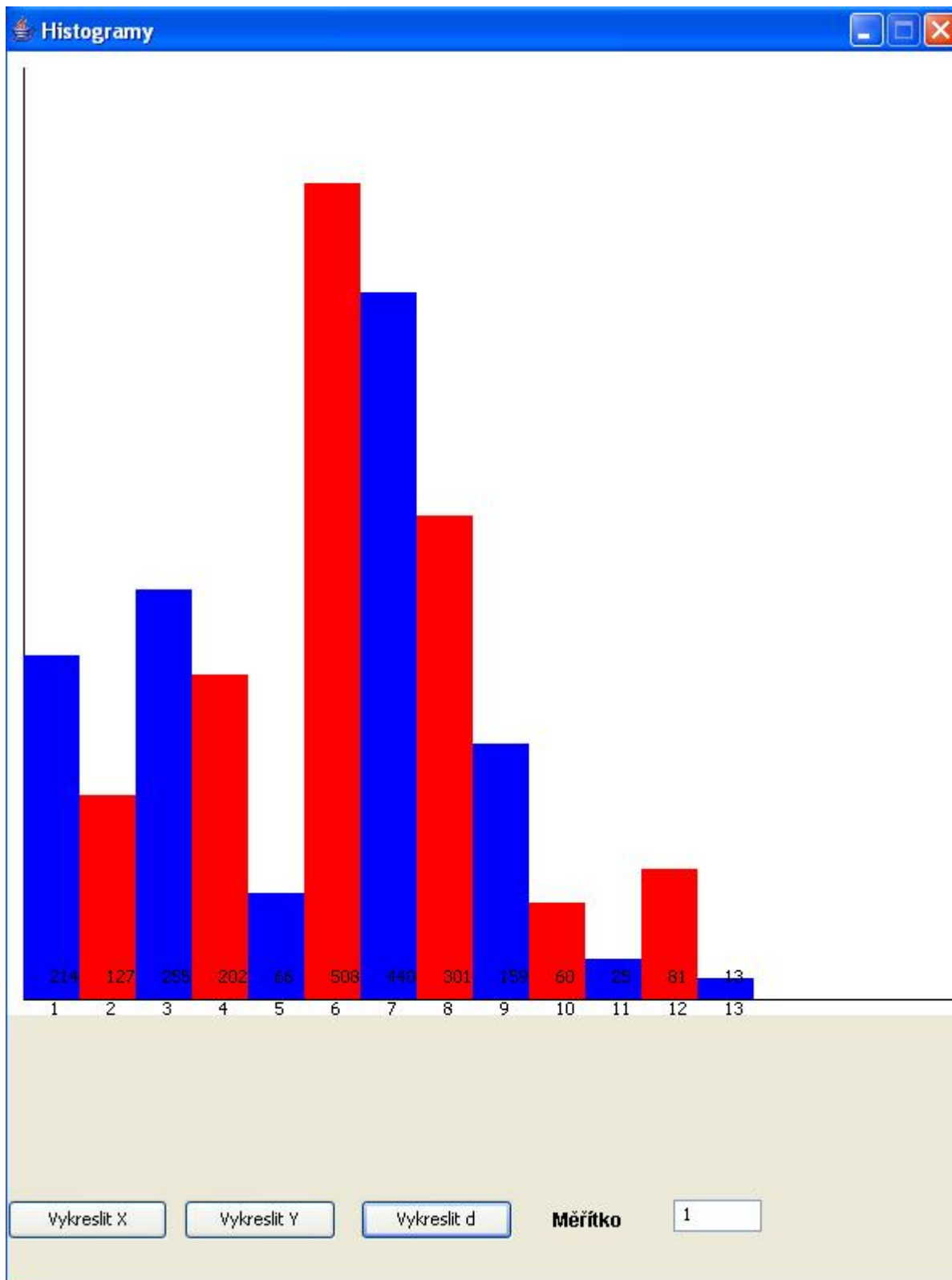
Obr. 9.: Hlavní okno aplikace

Po načtení souboru s daty můžeme spustit vlastní výpočet potřebný pro grafické analyzování GPS přijímače. K tomu slouží tlačítko Výpočet. Po stisknutí se v jednotlivých textových polích zobrazí bodové a intervalové výpočty.



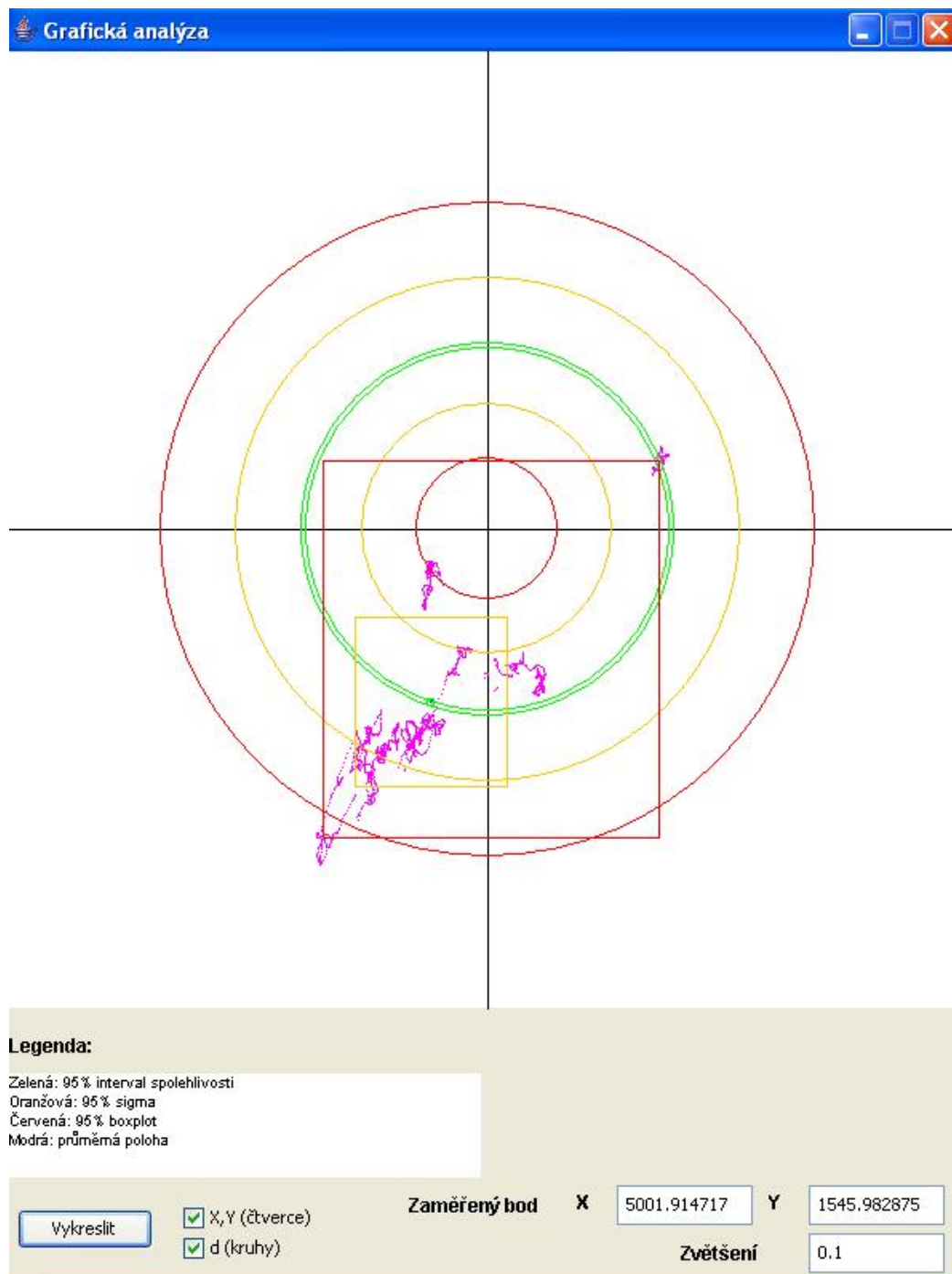
Obr. 10.: Po výpočtu

Stisknutím tlačítka histogramy se nám zobrazí druhé okno aplikace, ve kterém jsou tři tlačítka pro vykreslení histogramu zeměpisné šířky, zeměpisné délky a vzdálenosti bodů od zaměřeného bodu. Je zde textové pole pro zadání měřítka, v případě že by graf byl mimo vykreslovací oblast.



Obr. 11.: Histogram

Po stisknutí tlačítka analýza se zobrazí třetí okno aplikace, ve kterém je tlačítko vykreslit, textová pole na zadání souřadnic zaměřeného bodu, zvětšení a legenda. Po stisknutí se zobrazí osový kříž, kde střed kříže je zaměřený bod a vykreslí se jednotlivé body podle souřadnic z GPS přijímače. Pomocí tří různých metod se zjistili hranice 95% výskytu hodnot a vykreslí se odlišnými barvami jako obdélníky. To samé se provedlo i se vzdálenostmi a opět se vykreslil 95% výskyt různými barvami jako kružnice.



Obr. 12.: Analýza přesnosti

5.1 IMPLEMENTACE VZORCŮ DO JAZYKA JAVA

5.1.1 Bodové odhady

1 POČET TŘÍD

Určuje do kolika tříd budou rozděleny hodnoty pro vykreslování histogramů. Zprvu jsem zaměnil `Math.log10()` za `Math.log()`, čímž jsem dostal dvojnásobnou hodnotu počtu tříd a výsledné histogramy byly špatné.

```
public void pocet_trid(){
    k = 1 + 3.3 * Math.log10(poleSirka.size());
}
```

2 ARITMETICKÝ PRŮMĚR

U většiny vzorců jsem používal implementaci proměnné `Double` „proměnná“ = `new Double(1)`; protože pole typu `ArrayList` vrací objekt namísto hodnoty `double`. Tímto jsem se tomu podle mého názoru velice snadno vyhnul.

```
public void prumery(){
    Double x = new Double(1);
    Double y = new Double(1);
    Double d = new Double(1);

    double soucetX=0;
    double soucetY=0;
    double soucetD=0;
```

Procházení polí v cyklu `for()` a následné zpracování hodnoty. V tomto případě do proměnné `x` ukládám hodnotu pole na indexu `i` a přičítám ji k součtu těchto hodnot.

```
for(int i=0;i<poleSirka.size();i++){
    x = (Double) poleSirka.get(i);
    soucetX = soucetX + x;
}
for(int i=0;i<poleDelka.size();i++){
```

```

    y = (Double) poleDelka.get(i);
    soucetY = soucetY + y;
}
for(int i=0;i<poleVzdalenosti.size();i++){
    d = (Double) poleVzdalenosti.get(i);
    soucetD = soucetD + d;
}

```

Nakonec se vypočítá průměr jako součet všech hodnot dělen počtem hodnot v jednotlivých polích.

```

prumerX = soucetX/poleSirka.size();
prumerY = soucetY/poleDelka.size();
prumerD = soucetD/poleVzdalenosti.size();
}

```

3 ŠÍRKA INTERVALU

Šířka intervalu udává velikost intervalů tříd histogramů.

Pro tento výpočet je potřeba zjistit nejmenší a největší hodnotu v jednotlivých polích. Proto jsem požil metodu Collections, která pracuje s poli a kolekcemi a její funkce sort seřadí prvky v poli podle velikosti.

```

public void sirka_intervalu(){
    Collections.sort(poleSirkaSerazene);
    Double Xmin = new Double(1);
    Double Xmax = new Double(1);
}

```

Po seřazení prvků můžeme zjistit nejnižší číslo. Je to první číslo v poli, takže na indexu 0. Stejným způsobem zjistíme i nejvyšší číslo v poli. Je to poslední číslo, takže na indexu, který odpovídá velikosti pole.

```

Xmin = (Double) poleSirkaSerazene.get(0);

```

```
Xmax = (Double) poleSirkaSerazene.get((poleSirkaSerazene.size()));
```

Šířka intervalu se spočítá jako rozdíl mezi největším a nejmenším prvkem v poli dělen počtem tříd.

```
hx = (Xmax-Xmin)/k;
```

.. Stejným způsobem se získají potřebné údaje a výpočty pro zeměpisnou délku a vzdálenosti bodů.

```
Collections.sort(poleDelkaSerazene);
```

```
Double Ymin = new Double(1);
```

```
Double Ymax = new Double(1);
```

```
Ymin = (Double) poleDelkaSerazene.get(0);
```

```
Ymax = (Double) poleDelkaSerazene.get((poleDelkaSerazene.size()));
```

```
hy = (Ymax-Ymin)/k;
```

```
Collections.sort(poleVzdalenostiSerazene);
```

```
Double Dmin = new Double(1);
```

```
Double Dmax = new Double(1);
```

```
Dmin = (Double) poleVzdalenostiSerazene.get(0);
```

```
Dmax = (Double) poleVzdalenostiSerazene.get((poleDelkaSerazene.size()));
```

```
hd = (Dmax-Dmin)/k;
```

```
}
```

4 ROZPTYL

Nejdříve si připravíme potřebné proměnné pomocí např. `Double x = new Double(1)`, abychom do nich mohli ukládat hodnoty z polí typu `ArrayList`, jehož prvky jsou typu objekt.

```
public void rozptyl(){
```

```
    Double x = new Double(1);
```

```
    Double y = new Double(1);
```

```
    Double d = new Double(1);
```

```

double soucetX=0;
double soucetY=0;
double soucetD=0;

```

Poté procházíme jednotlivá pole prvek po prvku. Nesmíme zapomenout provést přetypování pomocí (Double).Poté máme v proměnných uložené hodnoty typu double namísto typu objekt.

```

for(int i=0;i<poleSirka.size();i++){
    x = (Double) poleSirka.get(i);
    soucetX = soucetX + (x*x);
}

```

```

for(int i=0;i<poleDelka.size();i++){
    y = (Double) poleDelka.get(i);
    soucetY = soucetY + (y*y);
}

```

```

for(int i=0;i<poleVzdalenosti.size();i++){
    d = (Double) poleVzdalenosti.get(i);
    soucetD = soucetD + (d*d);
}

```

Vlastní rozptyl se poté vypočítá pomocí $(\text{suma } X - (n \cdot \bar{x}^2)) / (n - 1)$ pro zeměpisnou šířku a stejným způsobem i ostatní rozptyly jen s jinými proměnnými.

```

rozptylX=(soucetX-(poleSirka.size()*prumerX*prumerX))/(poleSirka.size()-1);
rozptylY=(soucetY-(poleDelka.size()*prumerY*prumerY))/(poleDelka.size()-1);
rozptylD=(soucetD-(poleVzdalenosti.size()* prumerD * prumerD)) /
(poleVzdalenosti.size()-1);
}

```

5 SMĚRODATNÁ ODCHYLKA

Směrodatná odchylka se spočítá jako druhá odmocnina z rozptylu.

```
public void smerodatna_odchylka(){
    odchylkaX = Math.sqrt(rozptylX);
    odchylkaY = Math.sqrt(rozptylY);
    odchylkaD = Math.sqrt(rozptylD);
}
```

5.1.2 Intervalové odhady

1 STŘEDNÍ HODNOTA

Střední hodnotu veličin jsme spočítali třemi způsoby. První způsob je pomocí vzorce $\mu \in \left(x_{prum} - t_{1-\alpha/2(n-1)} * \frac{Sn}{\sqrt{n}}; x_{prum} + t_{1-\alpha/2(n-1)} \right)$, který není příliš vhodný pro velký počet hodnot.

```
public void stredni_hodnota(){
    stredni_hodnota_x1a = prumerX-(1.9609 * (odchylkaX/Math.sqrt(poleSirka.size())));
    stredni_hodnota_x2a = prumerX+(1.9609 * (odchylkaX/Math.sqrt(poleSirka.size())));
    stredni_hodnota_y1a = prumerY-(1.9609 * (odchylkaY/Math.sqrt(poleDelka.size())));
    stredni_hodnota_y2a = prumerY+(1.9609 * (odchylkaY/Math.sqrt(poleDelka.size())));
    stredni_hodnota_d1a = prumerD-(1.9609 *
(odchylkaD/Math.sqrt(poleVzdalenosti.size())));
    stredni_hodnota_d2a = prumerD+(1.9609 *
(odchylkaD/Math.sqrt(poleVzdalenosti.size())));
}
```

Druhý způsob je, že dolní mez je rovna průměru, od kterého odečteme odchylku. Horní mez je poté rovna průměru a přičtení odchylky.

```
stredni_hodnota_x1b = prumerX-odchylkaX;
```

```
stredni_hodnota_x2b = prumerX+odchylkaX;  
stredni_hodnota_y1b = prumerY-odchylkaY;  
stredni_hodnota_y2b = prumerY+odchylkaY;  
stredni_hodnota_d1b = prumerD-odchylkaD;  
stredni_hodnota_d2b = prumerD+odchylkaD;
```

Třetí způsob je, že vezmeme prvky polí a seřadíme je podle velikostí. Poté určíme hranice 2,5% od nejnižší hodnoty a 2,5% od nejvyšší hodnoty. Tím získáme počátek a konec intervalu hodnot, ve kterém je 95% výskytu naměřených bodů. V našem případě je to pro dolní mez 62 a pro horní mez 2390 prvek.

```
Collections.sort(poleSirkaSerazene);  
Collections.sort(poleDelkaSerazene);  
Collections.sort(poleVzdalenostiSerazene);  
  
Double x1 = new Double(0);  
Double x2 = new Double(0);  
Double y1 = new Double(0);  
Double y2 = new Double(0);  
Double d1 = new Double(0);  
Double d2 = new Double(0);  
  
x1 = (Double) poleSirkaSerazene.get(62);  
x2 = (Double) poleSirkaSerazene.get(2390);  
y1 = (Double) poleDelkaSerazene.get(62);  
y2 = (Double) poleDelkaSerazene.get(2390);  
d1 = (Double) poleVzdalenostiSerazene.get(62);  
d2 = (Double) poleVzdalenostiSerazene.get(2390);  
  
stredni_hodnota_x1c = x1;  
stredni_hodnota_x2c = x2;  
stredni_hodnota_y1c = y1;  
stredni_hodnota_y2c = y2;  
stredni_hodnota_d1c = d1;
```

```
stredni_hodnota_d2c = d2;
```

5.1.3 Vzdálenost bodů

Vzdálenost dvou bodů na povrchu Země, kde jeden bod je vždy referenční bod a druhý bod jsou souřadnice z GPS přijímače.

```
public void vzdalenost(){
    Double x = new Double(1);
    Double y = new Double(1);
    double vzdalenost = 0;
    double pom = 0;

    for(int i=0;i<=poleSirka.size()-1;i++){
        x = (Double) poleSouradnicX.get(i);
        y = (Double) poleSouradnicY.get(i);
        pom = ((Math.sin((x-refX)*Math.PI/180/2))*(Math.sin((x-refX)*Math.PI/180/2))) +
            (Math.cos(x*Math.PI/180) * Math.cos(refX*Math.PI/180) * (Math.sin((y-
            refY)*Math.PI/180/2) * Math.sin((y-refY)*Math.PI/180/2)));

        vzdalenost = 6371100 * 2 * Math.atan2(Math.sqrt(pom)*Math.PI/180,Math.sqrt(1-
        pom)*Math.PI/180);
    }
}
```

5.2 IMPLEMENTACE METOD PRO VYKRESLOVÁNÍ

Pro vykreslení základních os histogramů je používána metoda `draw_osy`. Při vykreslování se používá `Graphics2D`.

```
public void draw_osy(Graphics2D g2d){
```

Příkaz `g2d.setColor(Color.white)` nastaví barvu pro kreslení pomocí `g2d` na bílou. Příkaz `fillRect` znamená vykreslení plného čtyřúhelníku, v našem případě bílý podklad pro

grafy. Má velikost kreslicího plátna canvas. Rozměry se zjistí pomocí canvas.getWidth() pro šířku a canvas.getHeight() pro výšku.

```
g2d.setColor(Color.white);  
g2d.fillRect(0,0,canvas.getWidth(),canvas.getHeight());
```

GeneralPath je funkce pro kreslení vlastních tvarů, má mimo jiné funkce moveTo, která přesune ukazatel vykreslování do zadaného bodu a.lineTo, která vykreslí danou barvou dody až do zadaného bodu.

```
GeneralPath osy = new GeneralPath();  
osy.moveTo(10,10);  
osy.lineTo(10,590);  
osy.moveTo(10,590);  
osy.lineTo(590,590);  
g2d.setColor(Color.black);  
g2d.draw(osy);  
}
```

Pro vykreslení histogramů jsou používány metody:

pro zeměpisnou šířku

```
public void draw_histogram_x(Graphics2D g2d){  
    int sirka = 35;  
    int posun = 0;  
    int vyska = 0;  
    meritko = Integer.parseInt(jTextField1.getText());
```

Procházíme pole prvek po prvku. Hodnoty udávají četnost v jednotlivých třídách. Vykreslují se obdélníky o výšce hodnoty prvku v poli. Pokud se načítá sudý prvek z pole nastaví se barva výplně na modrou a pro liché na červenou. Pokud není v nějaké třídě zastoupena žádná hodnota nastaví se barva černá a vykreslí se pro přehlednost pouze obrys obdélníku.

```
for(int i = 0;i<poleTridx.length;i++){
```

```

if(i==0|i==2|i==4|i==6|i==8|i==10|i==12)g2d.setColor(Color.BLUE); else
    g2d.setColor(Color.RED);
vyska = Array.getInt(poleTridx,i);
if(vyska==0){
g2d.setColor(Color.black);
g2d.drawRect(10+posun,590-40/meritko,sirka,40/meritko);
}
else g2d.fillRect(10+posun,590-vyska/meritko,sirka,vyska/meritko);
g2d.setColor(Color.black);
g2d.drawString(String.valueOf(i+1), (int)27.5+posun, 600);
posun = posun + 35;
}
}

```

Pro zeměpisnou délku a vzdálenosti je metoda stejná, liší se jen zdroj dat z poleTridx na poleTridy pro zeměpisnou délku a poleTridvzd pro vzdálenost bodů.

Pro vykreslování bodů a hranic 95% výskytu hodnot je používána metoda draw_points. Z polí si načteme postupně hodnotu X, Y a poté vykreslujeme body.

```

for(int i=0;i<poleSirka.size();i++){
    hodnotaX = (Double) poleSirka.get(i);
    x = ((hodnotaX.doubleValue()-refX)*zvetseni;

    hodnotaY = (Double) poleDelka.get(i);
    y = ((hodnotaY.doubleValue()-refY)*zvetseni;

    body.moveTo((float)x+((canvas.getWidth()-1)/2), (float)y+((canvas.getHeight()-1)/2));
    body.lineTo((float)x+((canvas.getWidth()-1)/2), (float)y+((canvas.getHeight()-1)/2));
}
g2d.setColor(Color.magenta);
g2d.draw(body);

```

Vykreslování hranic výskytu se používá metoda `GeneralPath`, kde pomocí `moveTo` a `lineTo` se vykreslí jednotlivé obdelníky. Pro ostatní způsoby určování hranic a jejich vykreslování se změní pouze proměnné.

```
obdelnika.moveTo((float)obdelnikX1a+((canvas.getWidth()-1)/2),
(float)obdelnikY1a+((canvas.getHeight()-1)/2));
obdelnika.lineTo((float)obdelnikX2a+((canvas.getWidth()-1)/2),
(float)obdelnikY1a+((canvas.getHeight()-1)/2));
obdelnika.lineTo((float)obdelnikX2a+((canvas.getWidth()-1)/2),
(float)obdelnikY2a+((canvas.getHeight()-1)/2));
obdelnika.lineTo((float)obdelnikX1a+((canvas.getWidth()-1)/2),
(float)obdelnikY2a+((canvas.getHeight()-1)/2));
obdelnika.lineTo((float)obdelnikX1a+((canvas.getWidth()-1)/2),
(float)obdelnikY1a+((canvas.getHeight()-1)/2));
g2d.draw(obdelnika);
```

Pro vykreslení hranic vzdáleností se používá metoda `drawOval`, kde pro jednotlivé způsoby určení se používají jen jiné proměnné.

```
g2d.drawOval((int)stred1ax, (int)stred1ay, (int)sirkad1a, (int)sirkad1a);
g2d.drawOval((int)stred2ax, (int)stred2ay, (int)sirkad2a, (int)sirkad2a);
```

6 Závěr

Zprvu bylo potřeba sehnat natolik přesný GPS přijímač, aby bylo vůbec možné zachytit nepatrnou změnu ve změřených souřadnicích. Po několika nezdařilých pokusech s různými typy a výrobci GPS přijímačů nám byl zapůjčen Z-Max.net přijímač, který byl natolik přesný, že byla odchylka měřitelná.

Aplikace provádí teoretické výpočty a grafické znázornění dat, vykresluje do osového kříže zeměpisnou šířku a zeměpisnou délku jednotlivých zaměřených bodů. Je zde přehledně znázorněno jak se liší poloha udávaná GPS přijímačem oproti zaměřenému bodu – středu

osového kříže. Dále je zde zobrazena hranice 95% výskytu poloh, která je pro ukázkou určena třemi různými způsoby a zakreslena různými barvami do analýzy.

Poté jsme ještě znázornili 95% výskyt vzdáleností od zaměřeného bodu. Výsledkem je kružnice okolo středu osového kříže. I tento výskyt je určen třemi různými způsoby a barevně zakreslen do analýzy.

Dále aplikace zobrazuje histogramy četností pro zeměpisnou délku, zeměpisnou šířku a vzdálenosti.

Výsledkem analýzy přesnosti GPS přijímače je hodnota odchylky od daného bodu (antény na střeše Laboratoře inteligentních systémů ČD v Pardubicích) 11,8 cm a kmitem 3,9 cm. Na rozdíl od udávaných obecných odchylek GPS přijímačů je tato odchylka velice nízká, což je dáno kvalitou GPS přijímače použitého pro měření.

Seznam obrázků a tabulek

- Obr 1.: Schéma obíhání družic; Zdroj: www.gpsvehicle.com
- Obr 2: Družice GPS; Zdroj: <http://cs.wikipedia.org/wiki/GPS>
- Obr 3: Řídící centrum; Zdroj: <http://cs.wikipedia.org/wiki/GPS>
- Obr 4: GPS přijímač TOMTOM; Zdroj: <http://www.tomtom.cz>
- Obr 5: Receiver; Zdroj: www.z-max.net
- Obr 6: Anténa GNSS ;Zdroj: www.z-max.net
- Obr 7: Napájecí modul ;Zdroj: www.z-max.net
- Obr 8: Komunikační modul; Zdroj: www.z-max.net
- Obr 9.: Hlavní okno aplikace; Zdroj: Aplikace
- Obr 10.: Výpočet; Zdroj: Aplikace
- Obr 11.: Histogram; Zdroj: Aplikace
- Obr 12.: Analýza přesnosti; Zdroj: Aplikace
- Tabulka 1.: Technické parametry; Zdroj: www.z-max.net

7 Použitá literatura

[1] The Global Positioning System[online]. 2008 [cit. 2008-04-20]. URL: <http://cs.wikipedia.org/wiki/GPS>

[2] GPS, GALILEO a GLONASS-bitva tří navigačních systémů[online]. 2007-10-07 [cit. 2008-04-23]. URL: <http://gouma.net/23-gps-galileo-a-glonass-bitva-tri-navigacnich-systemu.php>

[3] Program Galileo[online]. 2007-03-20 [cit. 2008-05-05]. URL: <http://www.czechspace.cz/cs/galileo/program-galileo>

[4] Ruský globální družicový navigační systém GLONASS[online]. 2007-01-08 [cit. 2008-05-05]. URL: <http://www.czechspace.cz/cs/galileo/aktuality-GPS-Glonass/GLONASS>

[5] EGNOS[online]. 2007-02-12 [cit. 2008-05-05]. URL: <http://www.czechspace.cz/cs/galileo/aktuality-GPS-Glonass/EGNOS>

[6] Marie Budíková, Tomáš Lerch, Štěpán Mikoláš.: Základní statistické metody. Masarykova univerzita Brno, 2005. ISBN: 80-210-3886-1