

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ**



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2024

JIŘÍ DOLANSKÝ



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ
KATEDRA GEOMATIKY**

Aplikace pro analýzu NMEA zpráv z GNSS přijímačů

Studijní program: Geodézie a kartografie

Studijní obor: Geomatika

Vedoucí práce: Ing. Zdeněk Vyskočil, PhD.

Jiří Dolanský

Praha 2024

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a všechny použité prameny a literatura jsou uvedeny v seznamu citované literatury. Nemám námitek proti použití tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č. 121/2000 sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 27.5.2024

Anotace

V této bakalářské práci se zabývám globálními navigačními satelitními systémy (GNSS), zprávami NMEA-0183 a jejich zpracováním. Jejím cílem je navrhnout a vytvořit software k analýze dat ze zprávy NMEA. Pro vytvoření aplikace používám program Matlab, alt. Python.

Klíčová slova

GNSS, GPS, GLONASS, NMEA, U-Blox, Matlab, Python

Obsah

Obsah	3
Úvod	4
Rešerše	4
GNSS	5
GPS.....	5
GLONASS.....	6
Galileo.....	7
BeiDou.....	8
QZSS.....	8
NMEA	9
Organizace NMEA.....	9
Zprávy NMEA (NMEA 0183).....	9
Nástroje	12
MATLAB.....	12
U-blox.....	14
U-blox EVK-M8T.....	15
U-center.....	16
Realizace	17
Navržení a naprogramování aplikace v jazyce MATLAB.....	17
Varianta 1: živý přenos dat - funkce port.....	17
Varianta 2: import dat ze souboru - funkce soubor.....	19
Zpracování dat - společné.....	21
Výsledky	27
Závěr	33
Seznam obrázků	34
Literatura	35

Úvod

Dnešní společnost je v neustálém pohybu, v období rychlých změn a neustále se rozvíjejících technologií. Žádný člověk už si nedokáže představit život bez globálních navigačních systémů. Nasnadě je zamyslet se nad tím, jak se v této oblasti lépe zorientovat, a to například pomocí analytických aplikací.

V této bakalářské práci se budu zabývat tím, jak vytvořit aplikaci pro zpracování a analýzu zpráv NMEA. Bude navržen software v jazyce Matlab (alt. Python), který umožní vyhodnocovat soubor dat podle určitých parametrů. Tato aplikace bude schopna zobrazit např. průměrné či extrémní hodnoty a vizualizovat grafy.

Rešerše

Souvisejícím tématem se zabývá diplomová práce Ing. Lukáše Bělocha z katedry geomatiky FSv ČVUT “Návrh autonomního senzoru polohy a druhotného určení parametrů atmosféry s využitím low-cost přijímače”, ve které využívá přijímače stejných typů.

Další prací je bakalářská práce “Porovnání výsledků měření GNSS s užitím systémů EGNOS a EDAS” napsaná Bc. Josefem Jehličkou, ve které se také zabývá zpracováním zpráv NMEA.

GNSS

Pod touto zkratkou se skrývají slova Global Navigation Satellite System. Jedná se o celosvětový soubor systémů pro určování polohy pomocí družic, který byl založen v 70. letech 20. století. Za nejvýznamnější systémy lze považovat:

- GPS - Global Positioning System (USA)
- GLONASS - GLObalnaja NAVigacionnaja Sputnikovaja Sistěma (Rusko)
- Galileo (EU)
- BeiDou (Čína)
- QZSS (Japonsko)

GPS

GPS, Global Positioning System, česky globální polohový systém, je globální navigační systém, který umožňuje určit polohu a čas kdekoli na Zemi nebo ve velmi blízkém okolí Země, kde je signál GPS dostupný. Systém funguje pomocí sítě 24 satelitů umístěných ve vesmíru, které neustále vysílají radiové signály z různých poloh ve vesmíru. Tyto signály jsou zachycovány GPS přijímači na zemi nebo ve vozidlech a používány k výpočtu polohy, rychlosti, směru a času.

GPS se používá v široké škále aplikací, včetně automobilové navigace, letecké a námořní navigace, geodetických měření, zemědělství, outdoorových aktivit (jako je turistika a horolezectví), vojenských operací a mnoha dalších. Jeho hlavní výhodou je schopnost poskytovat přesnou polohu v reálném čase kdekoli na Zemi.

GPS je vyvíjen a udržován vládní agenturou Spojených států amerických, známou jako Úřad pro globální polohový systém (GPS) Ministerstva obrany Spojených států (DoD). Systém je zdarma dostupný pro kohokoliv na světě a není omezen pouze na vojenské účely. Nicméně, přesnost signálu může být omezena různými faktory, jako jsou blokování signálu stínícími objekty (např. budovy, stromy) nebo rušení signálu atmosférickými podmínkami.

GPS byl původně vyvinut pro vojenské účely Spojených států v 70. letech 20. století. Zlomovým rokem pro GPS v civilním sektoru byl rok 2000, kdy americká vláda odstranila omezení přesnosti signálu GPS pro civilní uživatele. Předtím byla přesnost signálu GPS pro civilní uživatele uměle snižována technikou nazývanou Selective Availability (SA), která způsobovala, že signály byly méně přesné než ty, které byly dostupné pro vojenské účely. Od roku 2000 poskytuje GPS civilním uživatelům přesné polohové informace s přesností na desítky metrů až centimetry, v závislosti na konkrétních podmínkách a použité technologii.



obrázek 1: družice GPS

GLONASS

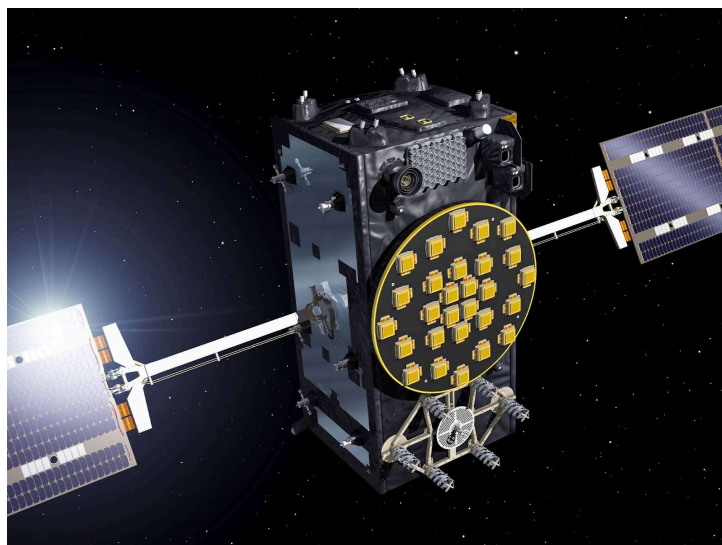
Zkratka pro slova Globalnaja Navigacionnaja Sputnikovaja Sistěma. Navigační systém vyvíjený od roku 1976 ruskými kosmickými silami. Po roce 1996 upadal, na celosvětovou úroveň se dostal po spolupráci Ruska s Indií a obnově celého systému v roce 2010. Využívá konstelaci 24 satelitů, které obíhají Zemi ve třech rovinách. Tyto satelity jsou umístěny na střední oběžné dráze ve výšce přibližně 19100 kilometrů. Spolupracuje s dalšími globálními navigačními systémy, což umožňuje vyšší přesnost a robustnost polohových služeb na celém světě.



obrázek 2: družice GLONASS

Galileo

Galileo je evropský družicový systém financovaný Evropskou unií prostřednictvím Evropské kosmické agentury založený v roce 2016. Primární účel této sítě je nezávislost EU na Spojených státech a Rusku. Jeho další výhodou je, že se jedná o civilní projekt, proto by neměl nastat výpadek systému při válečných konfliktech. Mimo jiné se jedná o nejpřesnější civilní družicový systém.



obrázek 3: družice Galileo

BeiDou

BeiDou je čínský družicový systém pojmenovaný podle souhvězdí Velké medvědice spuštěný v roce 2000. Nejprve byl dostupný pouze na území Číny, ve světovém měřítku se ukázal až v roce 2020. Mezi lety 2007-2012 nesl tento systém jméno Compass.



obrázek 4: družice BeiDou

QZSS

QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) je regionální satelitní navigační systém vyvinutý Japonskem. Jeho hlavním cílem je zlepšit dostupnost a přesnost navigačních signálů v Japonsku a okolních oblastech, zejména v městských a horských oblastech, kde mohou být signály globálních navigačních systémů jako GPS obtížně dostupné.

NMEA

Organizace NMEA

National Marine Electronics Association (NMEA) je celosvětová členská obchodní organizace, která se točí kolem standardů rozhraní námořní elektroniky, školení instalátorů námořní elektroniky a její každoroční konference a výstavy o námořní elektronice. Byla založena v roce 1957 skupinou prodejců elektroniky.

Zprávy NMEA (NMEA 0183)

NMEA 0183 je standard komunikace, který se používá pro automatizovaný přenos dat mezi jednotlivými zařízeními elektroniky lodí. Mimo lodní a námořní navigaci se používá také v jiných oblastech, jako jsou automobilové navigační systémy a průmyslová automatizace. Stanovilo a udržuje jej americké Národní sdružení pro lodní elektroniku (NMEA). Standard vznikl na přelomu 80. a 90. let 20. století, kdy nahradil starší standardy NMEA 0180 a NMEA 0182.

Jeden z hlavních cílů standardu NMEA je zajistit kompatibilitu mezi různými navigačními zařízeními od různých výrobců. Díky tomu mohou uživatelé propojit GPS přijímače, radar, autopiloty a další zařízení a vytvořit komplexní navigační systém pro svou loď. Kompatibilita však může být někdy omezena různými verzemi standardu a různými funkcemi podporovanými jednotlivými zařízeními.

Standard NMEA popisuje elektrické charakteristiky a přenosový protokol, kódující informace pomocí ASCII znaků. Jedním z hlavních využití v současnosti je přenos mezi přijímači Globálních družicových polohových systémů (GNSS) a elektronikou, která jejich informace využívá.

Fyzická vrstva využívá standardu sériové komunikace RS-232. Základní nastavení definuje komunikační rychlost 4800 bit/s, 1 stop-bit, žádná parita ani potvrzování.

Datová vrstva je pak tvořena ACSII řetězci stanoveného formátu.

Všechny řádky NMEA zprávy začínají znakem \$ a končí zalomením na začátek řádku a odřádkováním. Datová pole následují za oddělovači čárkami a mají proměnlivou délku. Pole s hodnotou NULL jsou stále odděleny čárkami, ale neobsahují žádné informace.

Oddělovač hvězdička (*) a hodnota kontrolního součtu následují za posledním polem dat obsaženým ve zprávě NMEA-0183. Kontrolní součet je 8 bitů bez všech znaků ve zprávě, včetně čárek mezi poli, ale bez \$ a hvězdiček.

Typy NMEA zpráv:

- GGA (Global Positioning System Fix Data): Tato zpráva obsahuje informace o polohových datech, čase a kvalitě signálu GPS. Typicky zahrnuje geografickou šířku, délku, výšku nad mořem, čas získání dat, počet použitých satelitů a další informace.
- GLL (Geographic Position - Latitude/Longitude): Zpráva GLL poskytuje aktuální geografickou polohu ve formě zeměpisné šířky a délky. Tato zpráva se často používá k přenosu informací o aktuální poloze.
- RMC (Recommended Minimum Navigation Information): Tato zpráva obsahuje minimální navigační informace, které jsou potřebné k určení aktuální polohy a rychlosti. Zahrnuje například geografickou polohu, rychlost, směr, čas, údaje o kvalitě signálu GPS atd.

Message	Function
DP	Dynamic positioning
DTM	Datum reference information
GBS	GNSS satellite fault detection (RAIM support)
GGA	Time, position, and fix related data
GLL	Position data: position fix, time of position fix, and status
GNS	GNS Fix data
GRS	GRS range residuals
GSA	GPS DOP and active satellites
GST	Position error statistics
GSV	Number of SVs in view, PRN, elevation, azimuth, and SNR
HDT	Heading from True North
LLQ	Leica local position and quality
MSS	MSK receiver signal
PTNL,AVR	Time, yaw, tilt, range, mode, PDOP, and number of SVs for Moving Baseline RTK
PTNL,BPQ	Base station position and position quality indicator
PTNL,DG	L-band corrections and beacon signal strength and related information
PTNL,EVT	Event marker data
PTNL,GGK	Time, position, position type, and DOP values
PTNL,PJK	Time, position, position type, and DOP values
PTNL,PJT	Projection type
PTNL,VGK	Time, locator vector, type, and DOP values
PTNL,VHD	Heading Information
RMC	Position, Velocity, and Time
ROT	Rate of turn
VTG	Actual track made good and speed over ground
ZDA	UTC day, month, and year, and local time zone offset

obrázek 5: typy zpráv NMEA

GGA message fields

Field	Meaning
0	Message ID \$GPGGA
1	UTC of position fix
2	Latitude
3	Direction of latitude: N: North S: South
4	Longitude
5	Direction of longitude: E: East W: West
6	GPS Quality indicator: 0: Fix not valid 1: GPS fix 2: Differential GPS fix (DGNSS), SBAS, OmniSTAR VBS, Beacon, RTX in GVBS mode 3: Not applicable 4: RTK Fixed, xFill 5: RTK Float, OmniSTAR XP/HP, Location RTK, RTX 6: INS Dead reckoning
7	Number of SVs in use, range from 00 through to 24+
8	HDOP
9	Orthometric height (MSL reference)
10	M: unit of measure for orthometric height is meters
11	Geoid separation
12	M: geoid separation measured in meters
13	Age of differential GPS data record, Type 1 or Type 9. Null field when DGPS is not used.
14	Reference station ID, range 0000 to 4095. A null field when any reference station ID is selected and no corrections are received. See table below for a description of the field values.
15	The checksum data, always begins with *

obrázek 6: struktura zprávy GGA

https://receiverhelp.trimble.com/alloy-gnss/en-us/NMEA-0183messages_MessageOverview.html?tocpath=Output%20Messages%7CNMEA-0183%20Messages%7C___0

Struktura NMEA zpráv je stejná u všech typů (liší se pouze zobrazovanými daty a jejich množstvím) \$XXYYY, a1,...,an*cc, kde XX je satelitní systém, YYY reprezentuje typ zprávy, a1 - an hodnoty dat, cc je kontrolní součet.

Nástroje

MATLAB

MATLAB (Matrix Laboratory) je vysoce výkonný programovací jazyk a interaktivní prostředí vyvinuté společností MathWorks určené pro numerické výpočty, vizualizace dat a tvorbu algoritmů. Díky široké škále knihoven (Toolboxů) je využíván v akademickém prostředí, průmyslu, výzkumu a dalším. Matlab je také používán pro

úlohy jako jsou numerické simulace, zpracování signálů a obrazů, analýza dat, strojové učení a další.

Základní pracovní jednotkou je matice. Proměnné jsou definovány pomocí operátoru přiřazení =. Indexování je založeno na jedničce, což je obvyklá konvence pro matice v matematice, na rozdíl od indexování založeného na nule, které se běžně používá v jiných programovacích jazycích, jako jsou C, C++ a Java.

Mezi hlavní rysy Matlabu patří:

- Numerické výpočty:
 - Matlab je optimalizovaný pro práci s maticemi, vektory a poli. Umožňuje provádět základní operace jako jsou sčítání, odčítání, násobení a dělení matic a vektorů.
 - Poskytuje mnoho vestavěných funkcí pro pokročilé matematické operace, jako jsou lineární algebra, numerická integrace, diferenciace a řešení diferenciálních rovnic.
 - Matlab také podporuje práci s komplexními čísly a numerickou analýzu.
- Interaktivní prostředí:
 - Matlab poskytuje uživatelsky přívětivé grafické rozhraní, které umožňuje uživatelům interaktivně pracovat s daty a kódem.
 - Obsahuje vestavěný editor kódu s funkcemi jako je automatické doplňování kódu, zvýrazňování syntaxe a ladění chyb.
 - Uživatelé mohou také používat příkazový řádek pro rychlý přístup k funkcím a interaktivní experimentaci.
- Grafické zpracování dat:
 - Matlab nabízí rozsáhlé možnosti pro vizualizaci dat včetně tvorby 2D a 3D grafů, histogramů, konturových map a dalších.
 - Uživatelé mohou vytvářet interaktivní grafické prvky, jako jsou ovládací prvky GUI, animace a uživatelsky definované grafické prvky.
 - Matlab podporuje export grafů do různých formátů souborů, včetně PNG, PDF, EPS a dalších.

- Široká komunita a podpora:
 - Matlab má rozsáhlou komunitu uživatelů a nabízí širokou škálu online zdrojů a podpůrných materiálů, jako jsou oficiální dokumentace, fóra, blogy a tutoriály.
 - MathWorks, firma stojící za Matlabem, poskytuje také školení, kurzy a technickou podporu pro uživatele.

- Rozšiřitelnost:
 - Matlab umožňuje uživatelům vytvářet vlastní funkce a skripty pro automatizaci opakovaných úkolů a rozšíření funkcí Matlabu.
 - Uživatelé mohou také vytvářet vlastní knihovny a balíčky pro sdílení svých algoritmů a aplikací s ostatními uživateli Matlabu.
 - Matlab podporuje integraci s dalšími programovacími jazyky a technologiemi, jako je C/C++, Python, Java a .NET.

U-blox

U-blox je švýcarská společnost specializující se na vývoj a výrobu čipových sad GNSS. Tyto čipy jsou používány v široké škále zařízení, jako jsou například mobilní telefony, automobily, navigační systémy, přenosné navigační zařízení, a mnoho dalších.

Společnost U-blox byla založena v roce 1997 a od té doby se stala jedním z předních světových dodavatelů čipů pro určování polohy a navigaci. Jejich produkty se vyznačují vysokou přesností, spolehlivostí a nízkou spotřebou energie, což je důležité zejména pro zařízení, která fungují na baterie.

Kromě čipů pro navigaci vyrábí U-blox také další komponenty pro bezdrátovou komunikaci, jako jsou například čipy pro Bluetooth a technologie pro přenos dat v mobilních sítích.

U-blox EVK-M8T

EVK-M8T je vývojová deska vyvinutá společností u-blox pro testování a vývoj aplikací pro GNSS (Global Navigation Satellite System) pomocí jejich čipu M8T. Některé klíčové vlastnosti a funkce této desky zahrnují:

- **Chip M8T:** Čip M8T je jádrem celého přístroje. Je to čip GNSS (Global Navigation Satellite System), který přijímá signály z různých satelitních navigačních systémů, jako jsou GPS, GLONASS, Galileo a BeiDou. Tento čip je navržen tak, aby poskytoval přesné informace o poloze a čase.
- **Vysoká přesnost polohy:** Díky čipu M8T a přesnému zpracování signálů umožňuje EVK-M8T dosahovat vysoké přesnosti při určování polohy. To je klíčové pro aplikace, které vyžadují přesnou polohu, jako jsou geodzie, měření času nebo navigace.
- **Rozhraní:** Přístroj je vybaven různými rozhraními pro komunikaci s externími zařízeními. Patří sem rozhraní USB pro připojení k počítači nebo jiným zařízením, rozhraní UART pro sériovou komunikaci a rozhraní SPI pro komunikaci s dalšími periferiemi.
- **Podpora signálů GNSS:** EVK-M8T je schopna pracovat s různými druhy signálů GNSS. To znamená, že může přijímat a zpracovávat signály z různých satelitních navigačních systémů, což zvyšuje jeho univerzálnost a použitelnost v různých částech světa.
- **Software Development Kit (SDK):** U-blox poskytuje SDK pro vývojáře, které umožňuje snadnou integraci EVK-M8T do jejich vlastních aplikací a systémů. SDK obsahuje různé nástroje a knihovny pro práci s přístrojem a zpracování dat z něj.
- **Flexibilita a modularita:** Deska EVK-M8T je navržena s ohledem na flexibilitu a modularitu. To znamená, že je možné ji přizpůsobit různým potřebám a

aplikacím. Například lze připojit různé antény nebo senzory, případně rozšířit funkčnost pomocí dalších modulů nebo rozhraní.

U-center

U-Center je softwarová aplikace vyvinutá společností U-blox, která slouží k konfiguraci, monitorování a ladění GPS a GNSS zařízení pomocí U-blox čipů. Tato aplikace je široce využívána v průmyslových, komerčních i vývojářských prostředích pro správu a optimalizaci zařízení založených na technologiích polohování a navigace.

U-Center zahrnuje funkce umožňující:

- Konfigurace čipu - umožňuje uživatelům nastavovat různé parametry čipu, jako jsou například aktualizací rychlost, filtraci dat, výstupní formáty a další.
- Monitorování polohy a signálu - poskytuje uživatelům informace o aktuální poloze zařízení, kvalitě signálu ze satelitů a další diagnostické údaje.
- Záznam dat - umožňuje uživatelům zaznamenávat data o polohování a signálech pro pozdější analýzu a ladění.
- Vizualizace polohy - poskytuje uživatelům možnost vizualizovat aktuální polohu zařízení na mapě.

Realizace

Navržení a naprogramování aplikace v jazyce MATLAB

Nejdříve je řešen způsob načítání dat. Za pomoci funkce “questdlg” je vyvolán tlačítkový dialog, ve kterém si uživatel zvolí jednu z variant - živý přenos dat ze sériového portu, nebo načtení dat ze souboru. Podle výběru je následně spuštěna operace “switch”, jež vybere funkci pro nahrání dat. V případě neplatného vstupu se zobrazí chybová hláška a datový soubor zůstává prázdný.

```
clc; clear all; format long g;

% Rozcestník pro výběr způsobu čtení dat při spuštění programu
option = questdlg('Jak chcete načíst data?', 'Volba způsobu čtení dat', 'Port', 'Soubor', 'Soubor');
switch option
    case 'Port'
        data = seriak(); % Volání funkce pro čtení dat ze sériového portu
    case 'Soubor'
        data = soubor(); % Volání funkce pro načtení dat ze souboru
    otherwise
        disp('Neplatná volba. Zvolte "port" nebo "soubor|.');
        data = []; % Prázdná data v případě neplatné volby
end
```

obrázek 7: rozcestník pro výběr způsobu čtení dat

Varianta 1: živý přenos dat - funkce port

První varianta aplikace je zaměřena na zpracování živých dat. Měřená data jsou tedy přímo přes sériový port zpracována. Toho bylo dosaženo pomocí funkce “serialport”, která podporuje přímý přenos hodnot z portu, ke kterému je připojen přijímač, stačí nastavit daný port a hodnotu baudrate.

Program je navržen tak, aby na začátku umožnil uživateli nastavit port, baudrate a časový limit měření. Pomocí funkce “inputdlg” se zobrazí dialogová okna pro výše zmíněné hodnoty. Základní hodnoty jsou port COM3, baudrate 9600 a čas 10 sekund.

```

%% zadání vstupních hodnot
% Dialog pro výběr sériového portu
portPrompt = {'Zadejte název sériového portu:'};
portTitle = 'Výběr sériového portu';
portDims = [1 50];
portDefinput = {'COM3'}; % Výchozí hodnota pro sériový port
portAnswer = inputdlg(portPrompt, portTitle, portDims, portDefinput);

% Dialog pro výběr baudového přenosového pásma
baudPrompt = {'Zadejte baudrate:'};
baudTitle = 'Výběr baudrate';
baudDims = [1 50];
baudDefinput = {'9600'}; % Výchozí hodnota pro baudrate
baudAnswer = inputdlg(baudPrompt, baudTitle, baudDims, baudDefinput);

% Dialog pro zadání časového limitu měření
timePrompt = {'Zadejte časový limit měření (v sekundách):'};
timeTitle = 'Časový limit měření';
timeDims = [1 50];
timeDefinput = {'10'}; % Výchozí hodnota pro časový limit (10 sekund)
timeAnswer = inputdlg(timePrompt, timeTitle, timeDims, timeDefinput);

% Získání hodnot z dialogových oken
selectedPort = portAnswer{1};
selectedBaudrate = str2double(baudAnswer{1});
timeLimitInSeconds = str2double(timeAnswer{1});

% Pokračování s vybranými hodnotami
disp("Vybraný port: " + selectedPort);
disp("Vybrané baudrate: " + selectedBaudrate);
disp("Časový limit měření: " + timeLimitInSeconds + " sekund");

```

obrázek 8: funkce pro vložení vstupních hodnot (měření z portu)

Dále se pomocí funkce “serialport” a “readline” načítají data přímo z portu po jednotlivých řádcích. Současně probíhá jak zápis do pole v Matlabu pomocí funkce “fprintf”, tak i zápis do textového souboru pomocí funkcí “sprintf”, která data formátuje do textu, a “fopen”, tedy otevření souboru pro zápis. Tento soubor získá název podle aktuálního času měření, použita je funkce “datetime”, a slouží pro zpětné načtení naměřených dat. Měřená data se také zobrazují v textové konzoli pomocí funkce “disp”. Nakonec se port zavře funkcí “clear”.

```

%% čtení dat z portu
try
% vytvoření objektu sériového portu s vybraným portem a baudrate
device = serialport(selectedPort, selectedBaudrate);

    startTime = tic; % Nastavení časového počátku
    startDateTime = datetime('now','Format','yyyy-MM-dd_HH-mm-ss');
    % získání data a času začátku měření

    % Vytvoření názvu souboru s datem a časem začátku měření
    fileName = sprintf('data_%s.txt', char(startDateTime));

    % Otevření souboru pro zápis
    fileID = fopen(fileName, 'w');

    % Inicializace buňkového pole pro ukládání dat
    data = {};

    while true
        % kontrola, zda uplynula určitá doba od začátku
        if toc(startTime) >= timeLimitInSeconds
            disp("časový limit byl dosažen.");
            break; % ukončení smyčky, pokud uplynul časový limit
        end

        % přečtení řádku dat ze sériového portu
        line = readline(device);

        % zápis řádku do souboru
        fprintf(fileID, '%s\n', line);

        % přidání načteného řádku do buňkového pole
        data = [data; {line}];

        % zpracování přečteného řádku dat
        disp(line); % zobrazení přečteného řádku
    end
catch ME
    disp("Chyba při čtení ze sériového portu:");
    disp(ME.message);
end

clear device

```

obrázek 9: čtení dat z portu

Varianta 2: import dat ze souboru - funkce soubor

Druhá varianta aplikace se zabývá případem, kdy se data do aplikace načítají z textového souboru dříve již měřených dat. K měření je použit program U-center společnosti U-blox nebo první varianta aplikace, která umožňuje ukládat data do souborů txt.

Jako první se je řešen import souboru. V rámci obsažení různých přípon souborů je zvolena funkce “uigetfile”, která otevře dialogové okno s možností výběru souboru k importu. Funkcí “importdata” se vybraný soubor načte do programu v textovém formátu.

```
%% import
% data = importdata('nmea_2023-08-21_09-13-40 (1).log');

[filename, filepath] = uigetfile('*.log', 'Select a file');

% pro případ že by to nefachalo
if isempty(filename)
    disp('Soubor nebyl vybrán!');
else
    disp(['Vybran soubor: ', fullfile(filepath, filename)]);
end
data = importdata(fullfile(filepath, filename));
```

obrázek 10: funkce pro import dat z textového souboru

Data z programu U-center

Nejprve se k počítači připojí GPS přijímač, a to pomocí USB a DVI konektorů. Po připojení se v programu U-Center, v záložce “receiver - connection” zvolí takový port, ve kterém je připojeno USB. Ikona připojení by se měla v tuto chvíli zbarvit do zelena.

Přes ikonu “configure” se nastaví, co se zrovna bude měřit (v tomto případě “MSG (messages)), v roletě se vybere zpráva a typ (např. NMEA GxGGA) a zaškrtnou se všechny prázdné boxy v okně. Změny se potvrdí tlačítkem “send” a uloží v záložce “CFG (configuration)”. Nutné je v této záložce označit box “user defined operation”, mít vybrané všechny možnosti z nabídky vpravo nahoře a opět překliknout na box “save current configuration”. Nakonec se vše potvrdí tlačítkem “send” a aktuální nastavení se uloží.

Následně se přes ikonu otevře textová konzole, ve které se zobrazují právě měřená data v intervalu 1 sekunda. Tato data je poté možné vyexportovat do textového souboru.

Zpracování dat - společné

Tato část práce se zabývá zpracováním dat a probíhá stejně pro obě varianty vstupu hodnot do aplikace.

Nejprve probíhá výběr pracovních dat, tedy filtr podle systému a typu zprávy. Data začínající znaky "\$GP" se sloučí s daty amerického systému GPS, data se znaky "\$GL" putují k datům ruského GLONASS, nakonec se data se znaky "\$GN" spojí s obecnými zprávami GNSS (více systémů). K rozřídění dat slouží cyklus "for", ve kterém je obsažena funkce "startsWith", která vyhledá řádky začínající požadovanými znaky.

```
%% výběr dat
% Inicializace dvou buňkových polí pro skupiny dat
gpgsvData = {};
glgsvData = {};
gnggaData = {};

% Smyčka pro rozdělení dat do skupin podle počátečního řetězce
for i = 1:length(data)

    % Aktuální řádek dat
    line = data{i};

    % Rozdělení na skupiny podle počátečního řetězce
    if startsWith(line, '$GPGSV')
        gpgsvData = [gpgsvData; line];
    elseif startsWith(line, '$GLGSV')
        glgsvData = [glgsvData; line];
    elseif startsWith(line, '$GNGGA')
        gnggaData = [gnggaData; line];
    end
end
end
```

obrázek 11: výběr dat

Další krok je konverze dat. Z textového řetězce je třeba udělat numerické hodnoty, které je možné zpracovávat jako matice. Na začátku se použije funkce “strrep”, jež doplní prázdná místa v datech hodnotou 0. Kompletní hodnoty jsou následně analyzovány funkcí “regexp”, jež vrátí pozice prvků shodující se s parametry funkce, a převedeny na číselné funkcí “str2double”.

```
%% konverze
% Inicializace pole pro ukládání extrahovaných čísel
GPGSV_vektor = cell(size(gpgsvData));
GLGSV_vektor = cell(size(glgsvData));

% % Iterace přes každý textový řetězec
for i = 1:length(gpgsvData)

    gpgsvData{i} = strrep(gpgsvData{i}, ', ', ',0,');
    gpgsvData{i} = strrep(gpgsvData{i}, '* ', ',0*');

    % Nalezení číselných hodnot pomocí regulárního výrazu
    cisla = regexp(gpgsvData, '-?\d+(\.\d+)?', 'match');

    % Převod nalezených číselných řetězců na čísla
    GPGSV_vektor{i} = str2double(cisla{i});
    GPGSV_vektor{i} = GPGSV_vektor{i}(1:end-1);
end

for i=1:length(glgsvData)

    glgsvData{i} = strrep(glgsvData{i}, ', ', ',0,');
    glgsvData{i} = strrep(glgsvData{i}, '* ', ',0*');

    % Nalezení číselných hodnot pomocí regulárního výrazu
    cisla = regexp(glgsvData, '-?\d+(\.\d+)?', 'match');

    % Převod nalezených číselných řetězců na čísla
    GLGSV_vektor{i} = str2double(cisla{i});
    GLGSV_vektor{i} = GLGSV_vektor{i}(1:end-1);
end
```

obrázek 12: konverze dat z textu na číselné hodnoty

Následně jsou data rozříděná tak, aby dávala smysl a tvořila ucelený soubor. Výstupem jsou vektory, které obsahují všechny dostupné hodnoty a vyřazují hodnoty nedostupné, a jsou dále propojovány na základě indexů. Tímto způsobem je ošetřena situace, kdy každý satelit dostane svá data.

```

% Požadované pozice
pozice = [4, 8, 12, 16, 5, 9, 13, 17, 6, 10, 14, 18, 7, 11, 15, 19];

% Příprava výsledného pole
vysledek_GP = NaN(length(GPGSV_vektor), length(pozice));
vysledek_GL = NaN(length(GLGSV_vektor), length(pozice));

% Kopírování hodnot z polí do výsledného pole na základě pozic
for j = 1:length(GPGSV_vektor)
    for i = 1:length(pozice)
        if pozice(i) <= length(GPGSV_vektor{j})
            vysledek_GP(j, i) = GPGSV_vektor{j}(pozice(i));
        end
    end
end

GP_PRN_pre=vysledek_GP(:, 1:4);
GP_ELE_pre=vysledek_GP(:, 5:8);
GP_AZI_pre=vysledek_GP(:, 9:12);
GP_SNR_pre=vysledek_GP(:, 13:16);

GP_PRN_vektor=GP_PRN_pre(:);
GP_ELE_vektor=GP_ELE_pre(:);
GP_AZI_vektor=GP_AZI_pre(:);
GP_SNR_vektor=GP_SNR_pre(:);

M=[GP_PRN_vektor, GP_ELE_vektor, GP_AZI_vektor, GP_SNR_vektor];
M=sortrows(M, 1);

A=M(:,1); B=M(:,2); C=M(:,3); D=M(:,4);
% Vyřazení hodnot NaN z vektorů
valid_indices = ~isnan(A);
A_clean = A(valid_indices);
B_clean = B(valid_indices);
C_clean = C(valid_indices);
D_clean = D(valid_indices);

% Najděte unikátní platné hodnoty v A
unique_values = unique(A_clean);

% Určete maximální počet prvků podle nejčastější hodnoty v A
max_count = max(histcounts(A_clean, unique_values));

% Vytvořte matice pro výsledky
GP_PRN = NaN(max_count, length(unique_values));
GP_ELE = NaN(max_count, length(unique_values));
GP_AZI = NaN(max_count, length(unique_values));
GP_SNR = NaN(max_count, length(unique_values));

% Vyplňte matice podle unikátních hodnot
for i = 1:length(unique_values)
    value = unique_values(i);
    indices = find(A_clean == value);

    % Vyplňte celý sloupec hodnotou 'value' v matici result_A
    GP_PRN(:, i) = value;

    % Vyplňte odpovídající hodnoty z B_clean do matice result_B
    for j = 1:length(indices)
        GP_ELE(j, i) = B_clean(indices(j));
        GP_AZI(j, i) = C_clean(indices(j));
        GP_SNR(j, i) = D_clean(indices(j));
    end
end
end

```

obrázek 13: určení pozic hodnot vektorů

Data jsou poté vyneseny do grafů, z hodnot elevace a azimutu se vytvoří skyplot a ze SNR (Signal to Noise Ratio) klasický liniový graf závislý na čase, vše podle jednotlivých systémů.

Graf skyplot obsahuje informace o pozici satelitů viditelných z bodu pozorování. Jsou zde označeny azimuty, tedy úhly od severu, a elevace, úhly od horizontu.

```
%% Skyplot
m=size(GP_PRN);
figure ('Name','Skyplot GPS satelitů')
pax = polaraxes;
hold(pax, 'on');
for i = (1:m(2))
    polarplot(pax, deg2rad(GP_AZI(:,i)),GP_ELE(:,i), 'o');
end

% Přizpůsobení vizuálního stylu grafu
%pax = gca; % Získání aktuální osy
pax.RAxis.Direction = 'reverse'; % Obrácení směru osy r
pax.ThetaZeroLocation = 'top'; % Nastavení nulového azimutu nahoru
pax.ThetaDir = 'clockwise'; % Nastavení směru azimutu
% ve směru hodinových ručiček
rlim([0,90]) % Nastavení limitu na radiální ose
pax.RTick = 0:10:90; % Nastavení kroku na radiální ose
pan on;
zoom on;
hold(pax, 'off');

% Inicializace prázdného pole pro legendu
legenda = cell(1, m(2));

% Procházení každého prvku vektoru
for i = 1:m(2)
    % Vytvoření textu pro jednotlivé prvky legendy
    legenda{i} = ['GPS ', num2str(GP_PRN(1,i))];
end

legend(legenda, 'Location', 'eastoutside', 'Orientation', 'vertical');
% Přidání legendy mimo graf
```

obrázek 14: tvorba grafů skyplot

Graf SNR obsahuje hodnoty poměru signálu k šumu. Vyjadřuje, jak silný je signál satelitu ve srovnání se šumem a rušením v okolí. Čím vyšší je SNR, tím lepší je kvalita signálu.

```

%% SNR grafy
% GPS
m=size(GP_PRN);
figure ('Name','SNR satelitů GPS')
plot (1:(length(GP_SNR)), GP_SNR)
grid on
% Inicializace prázdného pole pro legendu
legenda = cell(1, m(2));

% Procházení každého prvku vektoru
for i = 1:m(2)
    % Vytvoření textu pro jednotlivé prvky legendy
    legenda{i} = ['GPS ', num2str(GP_PRN(1,i))];
end

legend(legenda, 'Location', 'eastoutside', 'Orientation', 'vertical');
% Přidání legendy mimo graf

```

obrázek 15: tvorba grafů SNR

Následně jsou obdobným způsobem zpracovány soubory GGA, ve kterých se vyskytují souřadnice. Tyto hodnoty se vynášejí do sloupcových grafů, je zkoumána jejich četnost a střední chyba. Data ze zpráv GGA jsou zkoumána obecně za všechny dostupné systémy GNSS. Výsledky jsou poté vypsány do textové konzole.

```

%% konverze GGA
% Inicializace pole pro ukládání extrahovaných čísel
GNGGA_vektor = cell(size(gnggaData));

% % Iterace přes každý textový řetězec
for i = 1:length(gnggaData)

    gnggaData{i} = strrep(gnggaData{i}, ',,', ',,0,');
    gnggaData{i} = strrep(gnggaData{i}, ',,,', ',,0,0,');
    gnggaData{i} = strrep(gnggaData{i}, ',*', ',,0*');
end

for i = 1:length(gnggaData)

    gnggaData{i} = strrep(gnggaData{i}, ',,', ',,');

    % Nalezení číselných hodnot pomocí regulárního výrazu
    cisla = regexp(gnggaData, '-?\d+(\.\d+)?', 'match');

    % Převod nalezených číselných řetězců na čísla
    GNGGA_vektor{i} = str2double(cisla{i});
    GNGGA_vektor{i} = GNGGA_vektor{i}(1:end-1);
end

for i=1:length(GNGGA_vektor)
    CAS(i)=GNGGA_vektor{i}(1);
    N(i)=GNGGA_vektor{i}(2)/100;
    E(i)=GNGGA_vektor{i}(3)/100;
    H(i)=GNGGA_vektor{i}(7);
end

```

obrázek 16: konverze zpráv GGA

Ze zpráv GSA jsou následně vybrány hodnoty ředění přesnosti DOP (dilution of precision). V datech se nachází horizontální, vertikální a poziční (polohové) hodnoty DOP. Data jsou zobrazena v liniových grafech a porovnána s jejich průměrnou hodnotou. Výsledky jsou opět souhrnné z dostupných GNSS systémů a jsou kromě grafického výstupu zobrazeny v textové konzoli.

```
%% konverze GSA
% Inicializace pole pro ukládání extrahovaných čísel
GNGSA_vektor = cell(size(gngsaData));

for i = 1:length(gngsaData)

    % Nalezení číselných hodnot pomocí regulárního výrazu
    cisla = regexp(gngsaData, '-?\d+(\.\d+)?', 'match');

    % Převod nalezených číselných řetězců na čísla
    GNGSA_vektor{i} = str2double(cisla{i});
    GNGSA_vektor{i} = GNGSA_vektor{i}(1:end-1);
end

for i=1:length(GNGSA_vektor)
    PDOP(i)=GNGSA_vektor{i}(:, end-2);
    HDOP(i)=GNGSA_vektor{i}(:, end-1);
    VDOP(i)=GNGSA_vektor{i}(:, end);
end
```

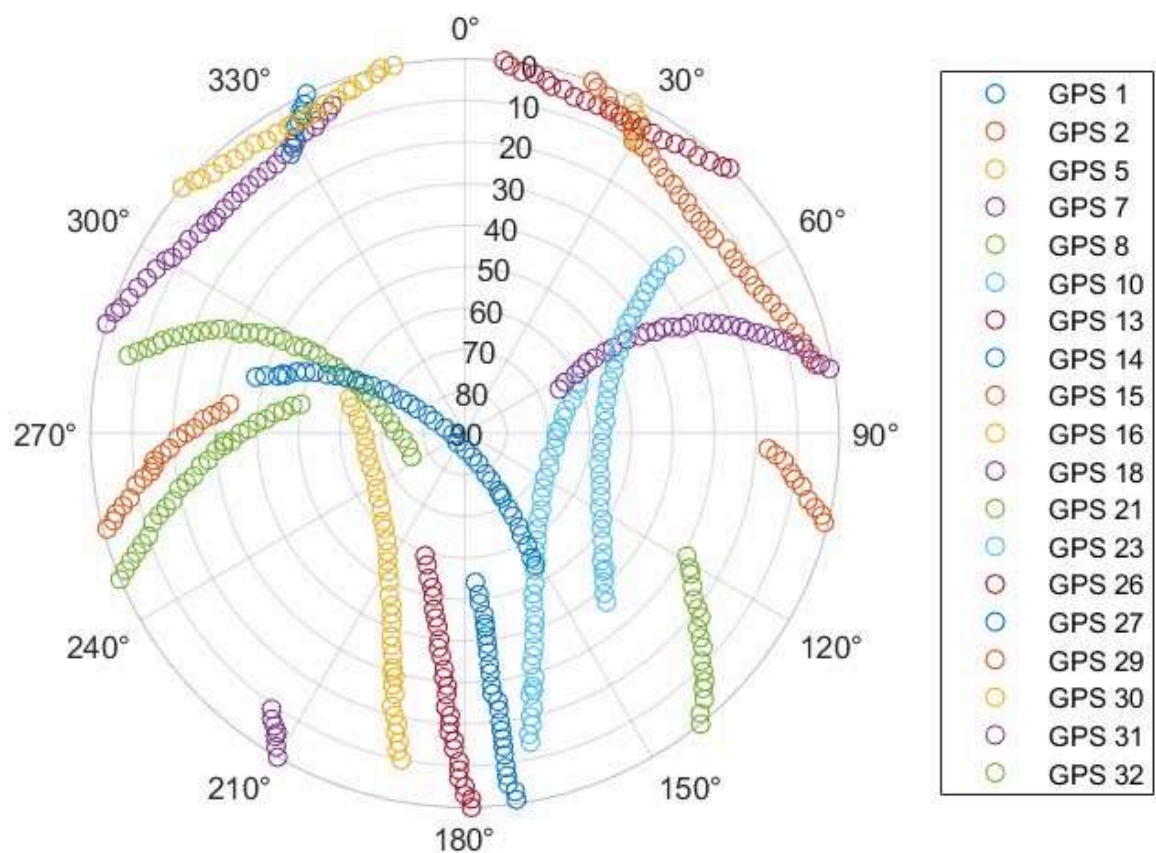
obrázek 17: konverze zpráv GSA

Z grafů četnosti souřadnic a DOP jsou navíc ještě z důvodu smysluplnosti dat filtrovány odlehlé hodnoty. Je zde využita statistická metoda kvartilů, která rozdělí hodnoty do čtyř stejně velkých částí. Za odlehlé hodnoty jsou považovány ty, které jsou vzdálenější, než 1,5 násobek hranice kvartilů v obou směrech.

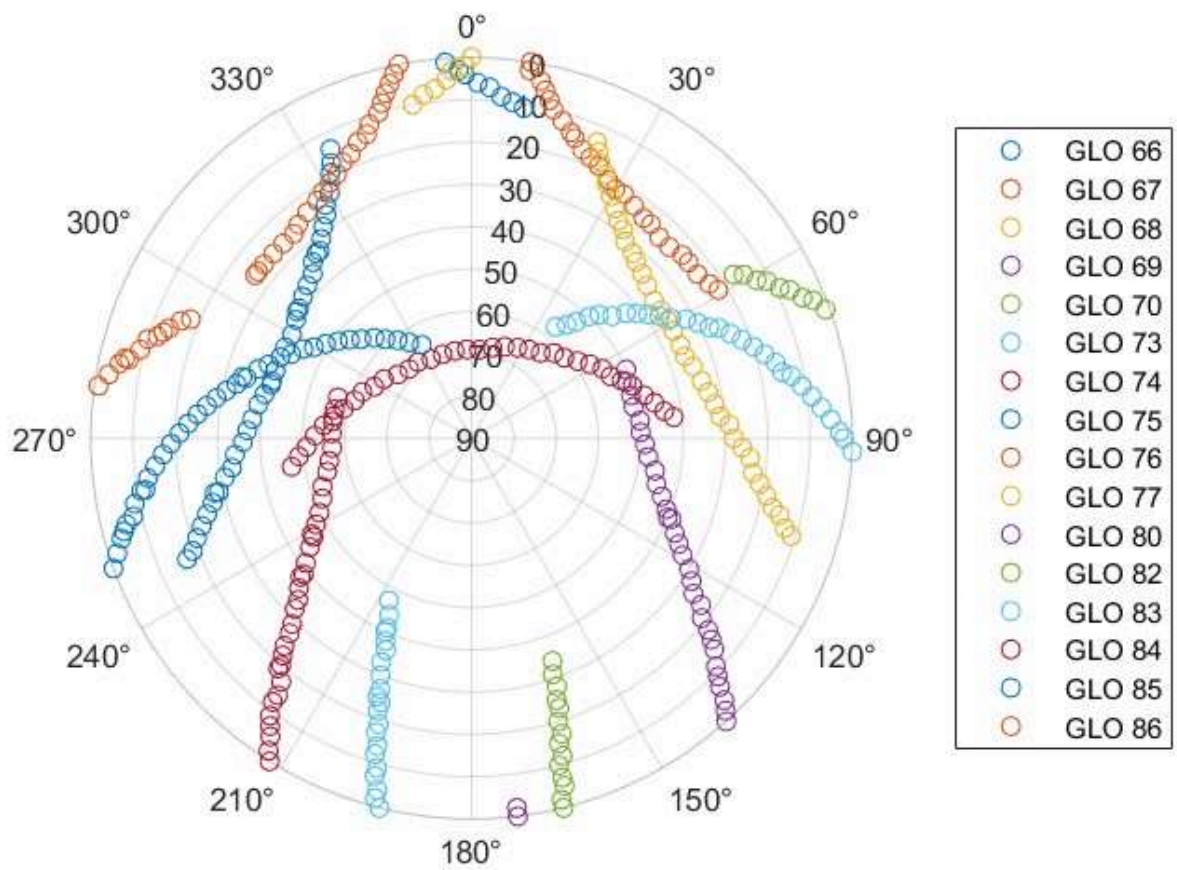
Výsledky

Jako výsledné výstupy udávám hodnoty naměřené pomocí přijímače U-blox EVK-M8T. Měření bylo provedeno ve městech Odolena Voda a Cheb. Zobrazené výstupy byly naměřeny na vyhlídce Zlatý Vrch v Chebu, přibližné souřadnice: 50,0885 N; 12,3746 E; 484 m.

Grafické zobrazení skyplotu pro GPS a GLONASS

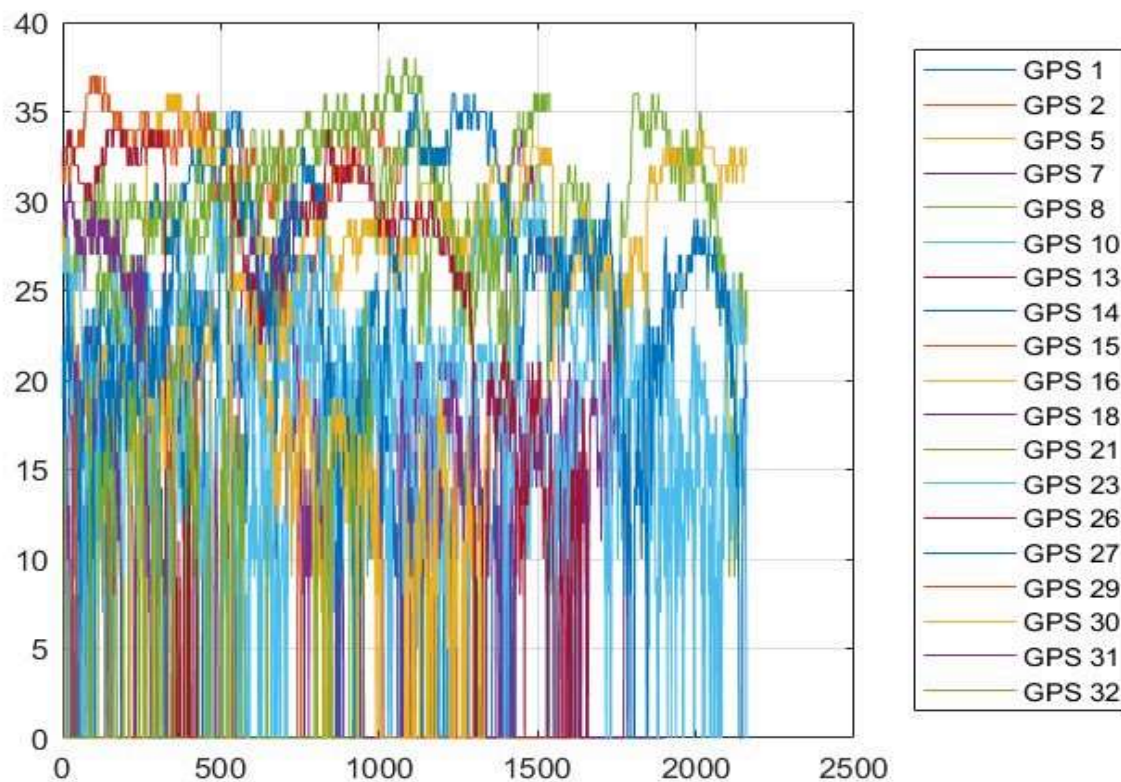


obrázek 18: skyplot družic GPS

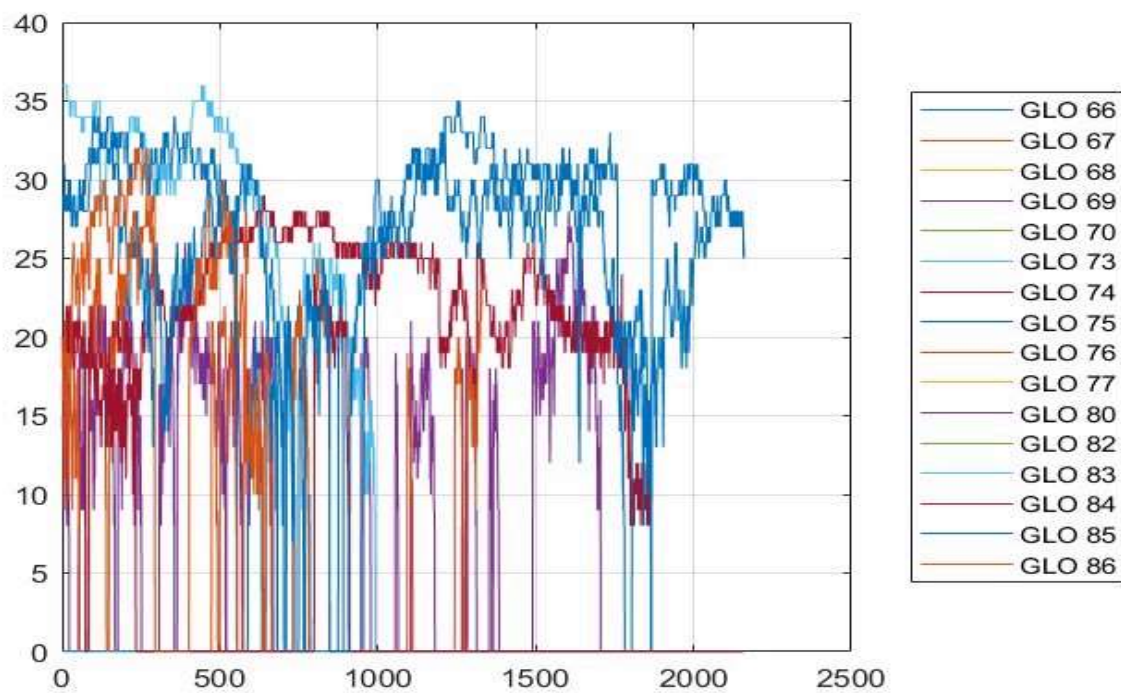


obrázek 19: skyplot družic GLONASS

Grafické zobrazení SNR pro GPS a GLONASS

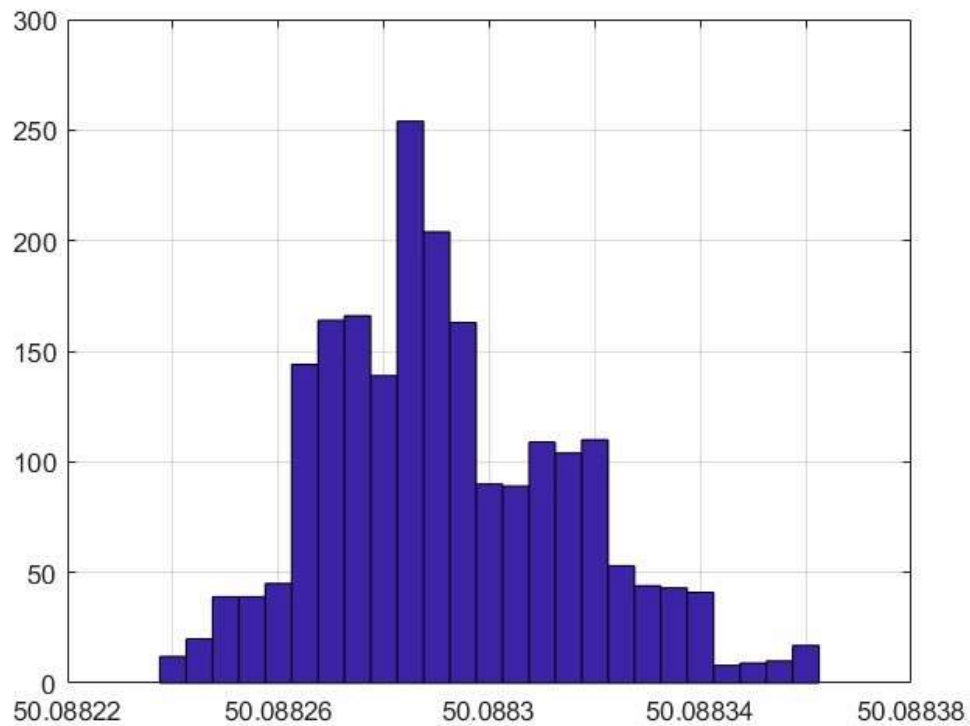


obrázek 20: graf hodnot SNR satelitů GPS

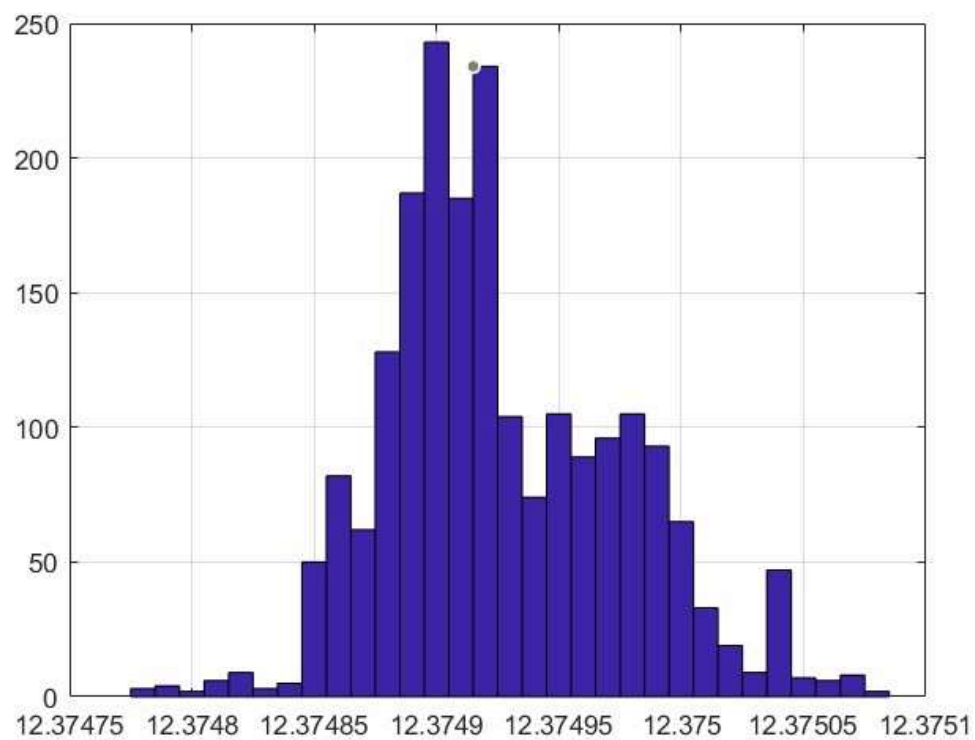


obrázek 21: graf hodnot SNR satelitů GLONASS

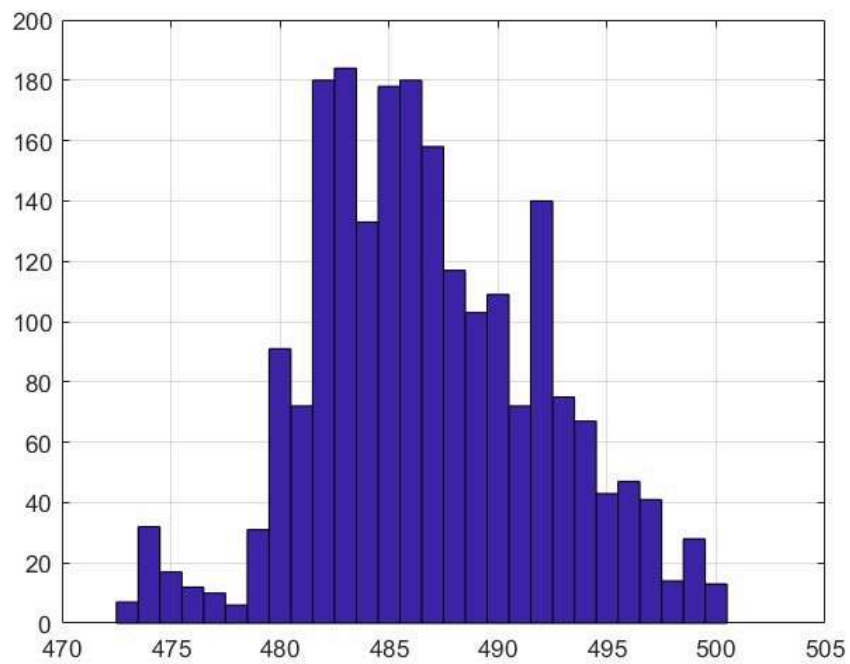
Grafické zobrazení četnosti hodnot polohy a výšky



obrázek 22: četnost hodnot zeměpisné šířky

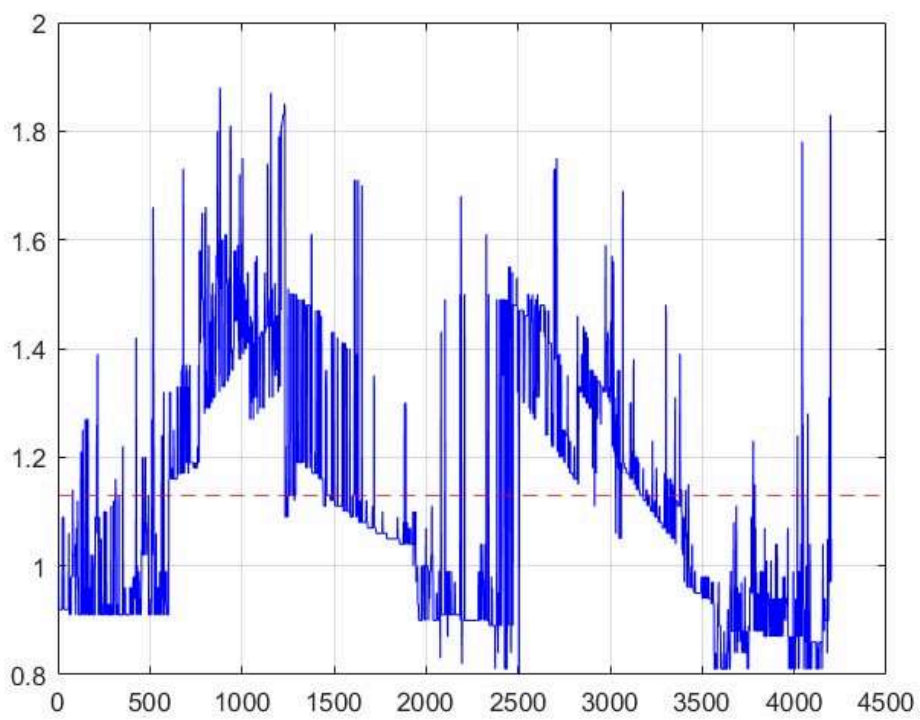


obrázek 23: četnost hodnot zeměpisné délky

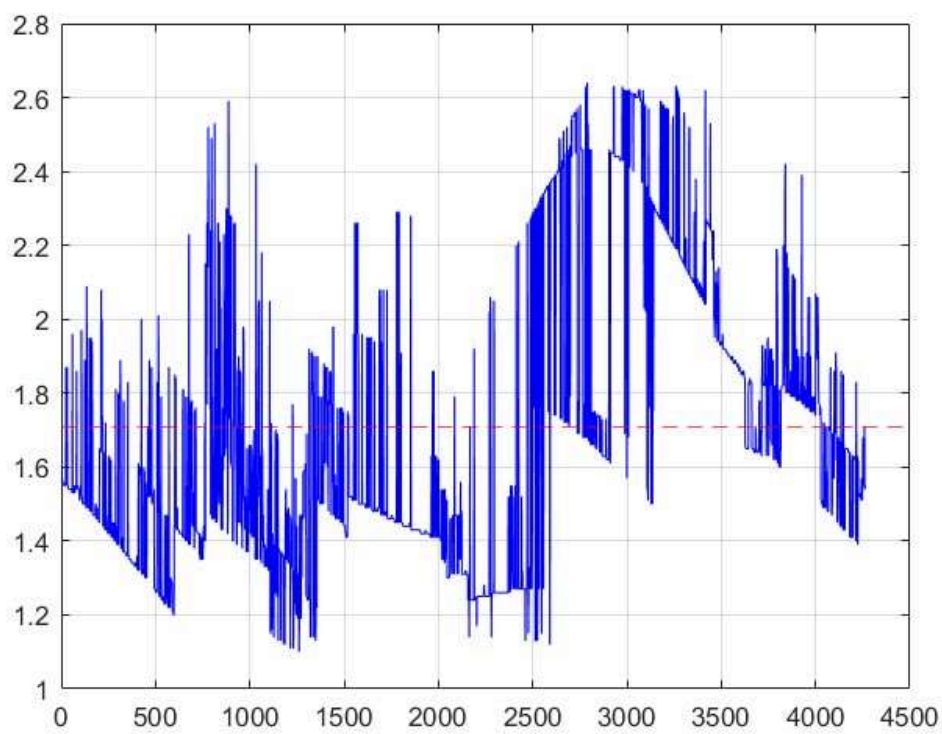


obrázek 24: četnost hodnot výšky

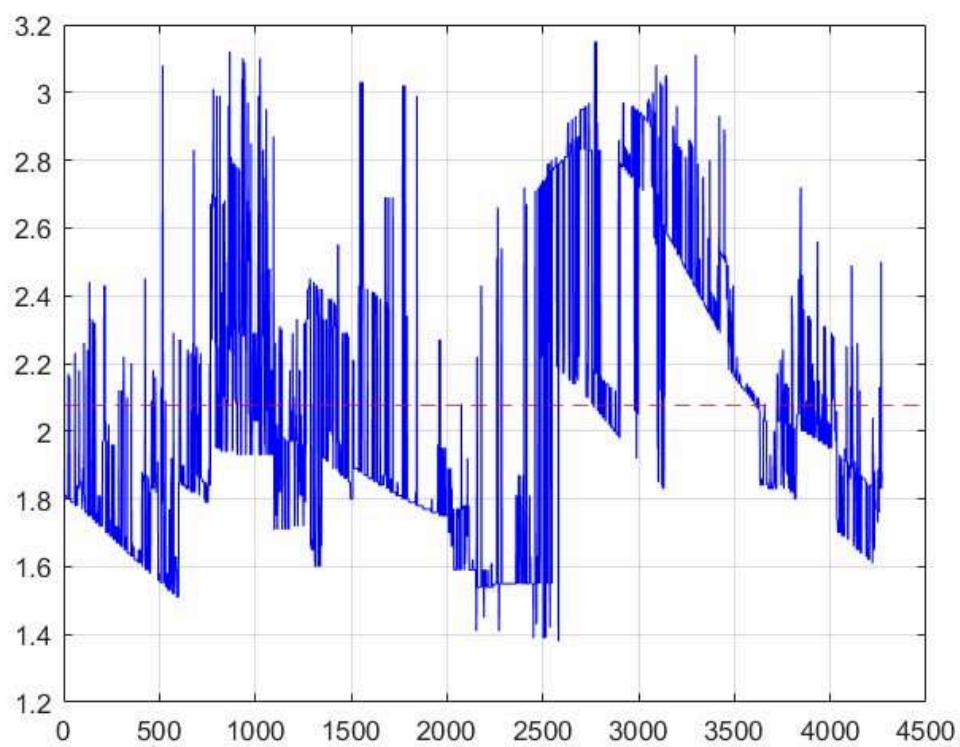
Grafické zobrazení DOP



obrázek 25: hodnoty HDOP



obrázek 26: hodnoty VDOP



obrázek 27: hodnoty PDOP

```
N: 50.08828917 +- 2.3467e-05  
E: 12.37492187 +- 4.8785e-05  
H: 486.2213 +- 5.3068  
PDOP: 2.2715  
HDOP: 1.4153  
VDOP: 1.7727
```

obrázek 28: výstup v textové konzoli

Závěr

Výsledkem této práce je aplikace, která umí zpracovávat data ze zpráv NMEA. Výstupy aplikace jsou analyzovaná data, výsledky zobrazené v textové konzoli a grafické znázornění výsledků. Měřená data jsou uložena v textovém souboru a mohou tak být využita i zpětně.

Přestože se konečné výsledky práce nepatrně liší od původních záměrů a našla by se spousta možností, jak aplikaci zlepšit, upravit nebo rozšířit, lze je považovat za úspěšné. Cíle práce byly splněny.

Seznam obrázků

obrázek 1: Družice systému GPS

https://cs.wikipedia.org/wiki/GPS#/media/Soubor:GPS_Satellite_NASA_art-iif.jpg

obrázek 2: družice systému GLONASS

<https://futurism.com/russia-two-glonass-k-satellites-orbit-now>

obrázek 3: družice systému Galileo

https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2014/07/Galileo_satellite2

obrázek 4: družice BeiDou

https://www.geocaching.com/geocache/GC2JE7E_beidou-compass

obrázek 5: typy zpráv NMEA + obrázek 6: struktura zprávy GGA

https://receiverhelp.trimble.com/alloy-gnss/en-us/NMEA-0183messages_MessageOverview.html?tocpath=Output%20Messages%7CNMEA-0183%20Messages%7C___0

Vlastní obrázky

obrázek 7: rozcestník pro výběr způsobu čtení dat

obrázek 8: funkce pro vložení vstupních hodnot (měření z portu)

obrázek 9: čtení dat z portu

obrázek 10: funkce pro import dat z textového souboru

obrázek 11: výběr dat

obrázek 12: konverze dat z textu na číselné hodnoty

obrázek 13: určení pozic hodnot vektorů

obrázek 14: tvorba grafů skyplot

obrázek 15: tvorba grafů SNR

obrázek 16: konverze zpráv GGA

obrázek 17: konverze zpráv GSA

obrázky 18-28: zobrazení výstupů z aplikace

Literatura

DOP. Online. Dilution of precision. 2024.

Dostupné z: <http://gauss.gge.unb.ca/papers.pdf/gpsworld.may99.pdf>.

[cit. 2024-05-27].

GLONASS. Online. O společnosti GLONASS. 2024.

Dostupné z: https://glonass-iac.ru/en/about_glonass/. [cit. 2024-05-27].

GPS. Online. What is GPS? 2024. Dostupné z:

<https://www.nasa.gov/directorates/somd/space-communications-navigation-program/gps/>.

[cit. 2024-05-27].

Matlab. Online. Matlab. 2024.

Dostupné z: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>. [cit. 2024-05-27].

NMEA-0183 messages: Overview. Online. 2024. Dostupné z:

https://receiverhelp.trimble.com/alloy-gnss/en-us/NMEA-0183messages_MessageOverview.html. [cit. 2024-05-27].

NMEA. Online. National Marine Electronics Association. 2024.

Dostupné z: <https://www.nmea.org/>. [cit. 2024-05-27].

U-blox. Online. EVK-M8T user guide. 2024. Dostupné z:

https://content.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/EVK-M8T_UserGuide_%28UBX-14041540%29.pdf. [cit. 2024-05-27].

U-blox. Online. U-center. 2024.

Dostupné z: <https://www.u-blox.com/en/product/u-center>. [cit. 2024-05-27].

Přílohy

Matlab skript a jeho alternativní verze v Pythonu.

Zadání práce.