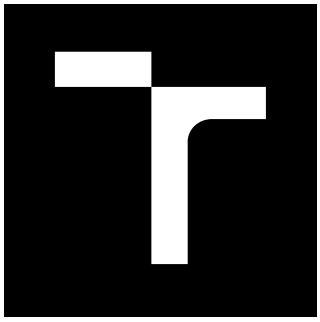
VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

# SEMESTRÁLNÍ PRÁCE

Brno, 2017 Bc. Péter Tóth




# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS


# TELEMETRICKÝ ARCHIV DRUŽIC
SATELLITE TELEMETRY ARCHIVE

**SEMESTRÁLNÍ PRÁCE**
SEMESTRAL THESIS


**AUTOR PRÁCE** — **Bc. Péter Tóth**
AUTHOR

**VEDOUCÍ PRÁCE** — **Ing. Tomáš Urbanec, Ph.D.**
SUPERVISOR


**BRNO 2017**

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

# Semestrální práce

magisterský navazující studijní obor **Elektronika a sdělovací technika**
Ústav radioelektroniky

***Student:*** Bc. Péter Tóth ***ID:*** 100291
***Ročník:*** 2 ***Akademický rok:*** 2017/18

**NÁZEV TÉMATU:**

## Telemetrický archiv družic

**POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

MM2E: Seznamte se se strukturou vysílaných telemetrických dat PSK31 družic PSAT, BRICsat, PSAT-2. Realizujte odstranění dopplerova jevu a proveďte demodulaci signálu z SDR IQ záznamu, vytvořte kostru archivu telemetrických dat a ověřte jeho funkčnost. K archivu vytvořte referenční údaje o poloze družice vůči Zemi a Slunci.

MMSE: Zpracujte celý archiv signálů družic PSAT, BRICsat, PSAT-2 a získaná data synchronizujte s referenčními údaji. Vytvořte vhodný nástroj pro zobrazení údajů z telemetrického archivu. Proveďte analýzu získaných dat všech dostupných veličin a jejich vzájemnou vazbu. Porovnejte získaná data z volně dostupných telemetrických archivů. Získejte maximum dat z obsahu transpondéru družic, doplňte o ně archiv a vyhodnoťte souvislosti s telemetrickými údaji. Vyhodnoťte získané údaje vzhledem k budoucím misím.

**DOPORUČENÁ LITERATURA:**

[1] Urbanec, T., Vágner, P., Kasal, M. P-sat Transponder WEB Specification [online]. 2015 [cit. 2017-10-5]. Dostupné z:

http://www.urel.feec.vutbr.cz/esl/files/Projects/PSAT/P%20sat%20transponder%20WEB%20spec02.htm

[2] Bruninga, B. PSAT - APRS plus a new PSK31 Approach [online]. 2017 [cit. 2017-10-5]. Dostupné z:

http://aprs.org/psat.html

***Termín zadání:*** 18.9.2017 ***Termín odevzdání:*** 13.12.2017

***Vedoucí práce:*** Ing. Tomáš Urbanec, Ph.D.
***Konzultant:***

**prof. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.**
*předseda oborové rady*

## ABSTRAKT

Náplní této práce je vytvoření archivu telemetrických údajú amaterských družic NO-83 BRICsat a NO-84 PSat.

## KLÍČOVÁ SLOVA

korekce dopplerova posuvu, NO-83, BRICsat, NO-84, PSat

## ABSTRACT

The aim of this thesis is to create an archive of telemetric data of satellites NO-83 BRICsat and NO-84 PSat.

## KEYWORDS

doppler shift correction, NO-83, BRICsat, NO-84, PSat

TÓTH, Péter. *Název studentské práce*. Brno, 2018, 35 s. Semestrální projekt. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky. Vedoucí práce: Ing. Tomáš Urbanec , Ph.D.

# PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svůj semestrální projekt na téma „Název studentské práce“ jsem vypracoval(a) samostatně pod vedením vedoucího semestrálního projektu a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor(ka) uvedeného semestrálního projektu dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením tohoto semestrálního projektu jsem neporušil(a) autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl(a) nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom(a) následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno ..... .....

podpis autora(-ky)

# PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. Tomášu Urbanci, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.


Brno ..... .....

podpis autora(-ky)

# OBSAH

# SEZNAM OBRÁZKŮ

# SEZNAM TABULEK

# SEZNAM VÝPISŮ

# ÚVOD

Umělé družice obíhající kolem Země jsou systémy, s kterými poslední fyzické kontakty lidí vznikají těsně před její vypuštěním. Prakticky to znamená praktickou nemožnost provádění jakékoliv činnosti na zařízení v místě působení činnosti umělé družice. Proto hraje důležitou roli při provozování umělých družic dálkový sběr naměřených údajů senzorů, tzv. telemetrických dat, umělých družic za účelem vyhodnocení její stavu.

V této práci je vytvářená snaha o automatické zpracování telemetrických dat amatérských umělých družic Parkinson NO-83 a NO-84. Protože tyto družice mají svou dráhu na nízké oběžné dráze, je jejich signál silně postižen dopplerovským posuvem. Pro správní demodulaci signálu se tento posuv kmitočtu signálu musí korigovat, a kvůli číslicové povaze modulovaného signálu musí být táto korekce prováděná bez vzniku fázové diskontinuity.

Dělení dokumentu do kapitol a podkapitol je tvořen ze záměrem porozumění a sledování vzniku řešení zadaného a problému. Ke kompenzaci dopplerovského posuvu kmitočtu signálu musíme znát relativní rychlost družice vzhledem ke pozemní stanici. Pro výpočet této rychlosti musíme znát naši polohu, predikovat pohyb umělé družice a tvar její dráhy. Tyto témata jsou blíže popsány v kapitolách <a neveik, számaik, vagy referencia>. V další kapitole <ref> se věnujeme výpočtu relativní rychlosti umělé družice vzhledem k pozemní stanici a v následující určíme velikost a možnosti korekce dopplerovského posuvu. Poslední kapitolou spadajícího do myšlené skupiny teorie patří demodulaci a dekódování signálu.

V následujících kapitolách se prezentuje konkrétní řešení, včetně vývojových diagramů a popisu funkčnosti jednotlivých skript v jazyce Python 3. Radiokomunikace prošla ohromným vývojem v průběhu druhé polovice 20. století. Vypuštění první umělé družice Sputnik-1 v roce 1957 datujeme začátek vesmírného věku. Od té doby se otevřeli nové možnosti radioamatérův věnovat se svému koníčku, nebo výzkumu.

# 1 TEORIE

## 1.1 Struční přehled amaterských družic

Radiokomunikace prošla ohromným vývojem v průběhu druhé polovice 20. století. Vypuštění první umělé družice Sputnik-1 v roce 1957 datujeme začátek vesmírného věku. Od té doby se otevřeli nové možnosti radioamatérův věnovat se svému koníčku, nebo výzkumu.

Necelé čtyři roky po vypuštění první umělé družice Země se svět dočkal první amatérské umělé družice sestrojeného v rámci projektu Orbiting Satellite Carrying Amateur Radio (OSCAR) [1], kterého nástupnickou organizaci se stal Radio Amateur Satellite Corporation (AMSAT-NA) [2]. Družice OSCAR I byla vypuštěná na nízkou oběžnou dráhu jako druhotný náklad, který vyžíval rezervy nosnosti rakety Thor DM-21 Agena-B. Tento způsob dopravy byl zvolen z ekonomických důvodů a je dodnes používán.

Obecně se amatérské družice nasazují na nízkou oběžnou dráhu (Low Earth Orbit – LEO) [3]. Výhodou dráhy tohoto typu je jejich finanční nenáročnost, co je zčásti způsobená vlastností plynoucího z nazvu oběžné dráhy, výškou orbitu, který se pohybuje od 300 km do 2000 km. Nedostatkem nízké oběžné dráhy je vysoká relativní rychlost družice vůči pozemní stanici, která přibližně 7,8 $^{km}/_{s}$ [4] jehož důsledkem je rádiový signál značně postižen dopplerovským posuvem kmitočtu, kterého velikost dosahuje i 26 ppm.

## 1.2 Sledování a predikce pohybu těles na oběžné dráze Země

Objekty, které se pohybují vesmírem kolem Země jsou sledovány organizacemi [5]:

- United States Strategic Command (USSTRATCOM)(součást Department of Defense (DoD))
- European Space Agency (ESA)
- Fraunhofer-Institut fur Hochfrequenzphysik und Radartechnik (Fraunhofer-FHR)
- Jet Propulsion Laboratory (JPL)(součast National Aeronautics and Space Administration (NASA))
- Massachusetts Institute of Technology (MIT)
- European Incoherent Scatter Scientific Association (EISCAT)
- United States Air Force (USAF)

Ke sledování se používají pozemní radary, lidary, pozemní a vesmírné teleskopy. Mezi sledované objekty patří umělé družice, pozůstatky raket a jiný vesmírný odpad. Nejrozsáhlejší katalog stavu družic udržuje Ministerstvo obrany Spojených států (DoD) s názvem Space Object Catalog. Civilní varianta této databáze je provozována organizaci NASA. Tyto databáze se udržují pomocí různých modelů orbitální mechaniky. Pohyby družic jsou analyticky vypočteny pomocí teorie všeobecných perturbací. Prvky dráhy této teorie jsou publikovány ve formátu NASA/NORAD two-line elements (TLE). [6].

Proč se zabývat přesnou polohou družice? Aby jsme byly schopní provést korekci dopplerovského posuvu, musíme splnit několik požadavek výpočtu:

- polohu pozemní stanice [1]
- polohu a rychlost umělé družice

## 1.3 Výpočet rychlosti těles na oběžní dráze Země

Rychlost těles na oběžné dráze dráze lze precizně vypočítat pomocí vztahu [14]:

$$v = \sqrt{\mu - \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a}\right)} \tag{1.1}$$

kde $\mu$ je standardní gravitační parametr, $v$ je rychlost tělesa, $r$ je vzdálenost tělesa od místa pozorování, $a$ je délka hlavní poloosy.

| orbita [−] | výška orbitu [km] | rychlost orbitu [km/s] |
|---|---|---|
| LEO | 200 – 2000 | 6,9 – 7,8 pro kruhovou dráhu |
| Molnija | 500 – 39900 | 6,5 – 8,2 pro eliptickou dráhu |
| Geostacinární | 35768 | 0,97 – 1,08 |

Tab. 1.1: Tangenciální rychlost pro různé orbity [14]

## 1.4 Určení dopplerovského posuvu

Pozorovatel, který je v relativním pohybu vzhledem ke zdroji vlnění, bude vnímat vlnění se změněným kmitočtem. V případě, že relativní rychlost se mění časem, mění se i velikost změny kmitočtu. Tuto změnu kmitočtu nazýváme dopplerovským posuvem a jev se nazývá Dopplerův jev, který byl publikovaný Christianem Dopplerem v roce 1842 v Praze.

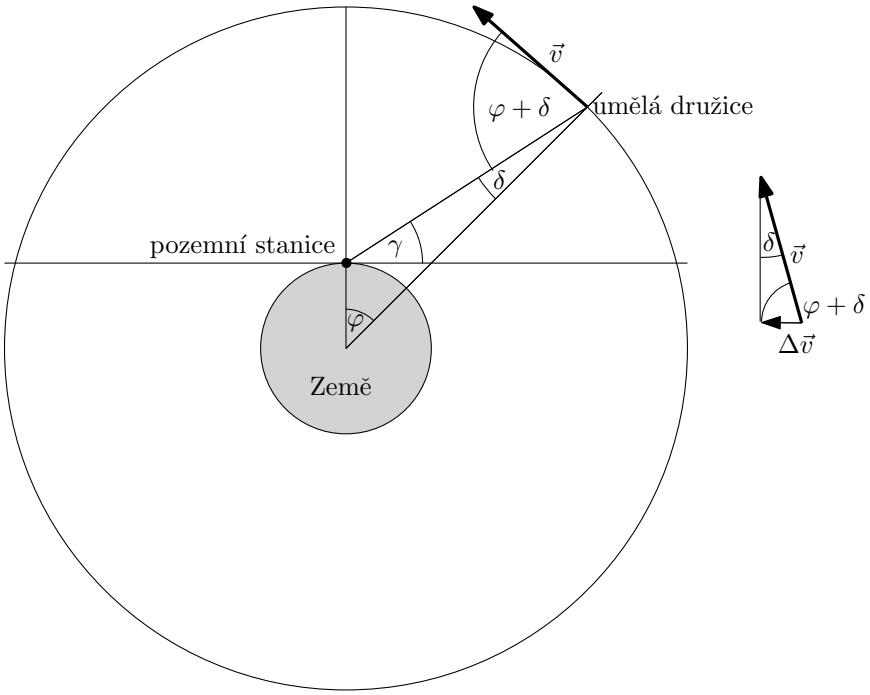
[1] pozemní stanici považujeme za stacionární vzhledem ke povrchu Země

Velikost dopplerovského posuvu lze přibližně určit pomocí vztahu [15]:

$$\Delta f = \frac{\Delta v}{c} f_0 \tag{1.2}$$

kde $\Delta f$ je posuv kmitočtu, $\Delta v$ je relativní rychlost, $c$ rychlost vln v prostředí, $f_0$ je původní kmitočet.

Pro výpočet dopplerovského posuvu signálu vysílaného družicí na oběžné dráze Země je potřebné znát její relativní rychlost vzhledem k pozorovateli na pozemní stanici. Tuto rychlost lze vypočítat z oběžné rychlosti družice pomocí trigonometrických výpočtů. Princip je zobrazen na obrázku 1.1




Obr. 1.1: Výpočet vektoru relativní rychlosti [13]

# 2 REALIZACE SKRIPTŮ V JAZYCE PYTHON 3

## 2.1 vytvoření archivu dat TLE

Vytvoření lokální databázi dat TLE je nezbytné pro správnou korekci dopplerovského posuvu. Pro umělé družice NO-83 a NO-84 jsou veřejně přístupné data TLE na stránce organizace AMSAT-NA: <`http://amsat.org/pipermail/keps/`>. Tyto data jsou distribuované formou elektronického mailing list, kterého archív se nachází na výše zmíněném URL v jedním souboru. Aby bylo možné použit údaje TLE obsáhnuty v tomhle archivním souboru, je nutné provést extrakci dat TLE dle datu jejího vzniku.

Na obrázku 2.1 je uveden vývojový diagram skriptu pro extrahování dat TLE. Jako povinný vstupní parametr je název souboru staženého z webové stránky oragnizace AMSAT-NA. Data TLE jsou posílané v jednom emailu. Skript identifikuje začátek i konec balíků dat TLE. Na začátku každého balíku se hledjí vzory:

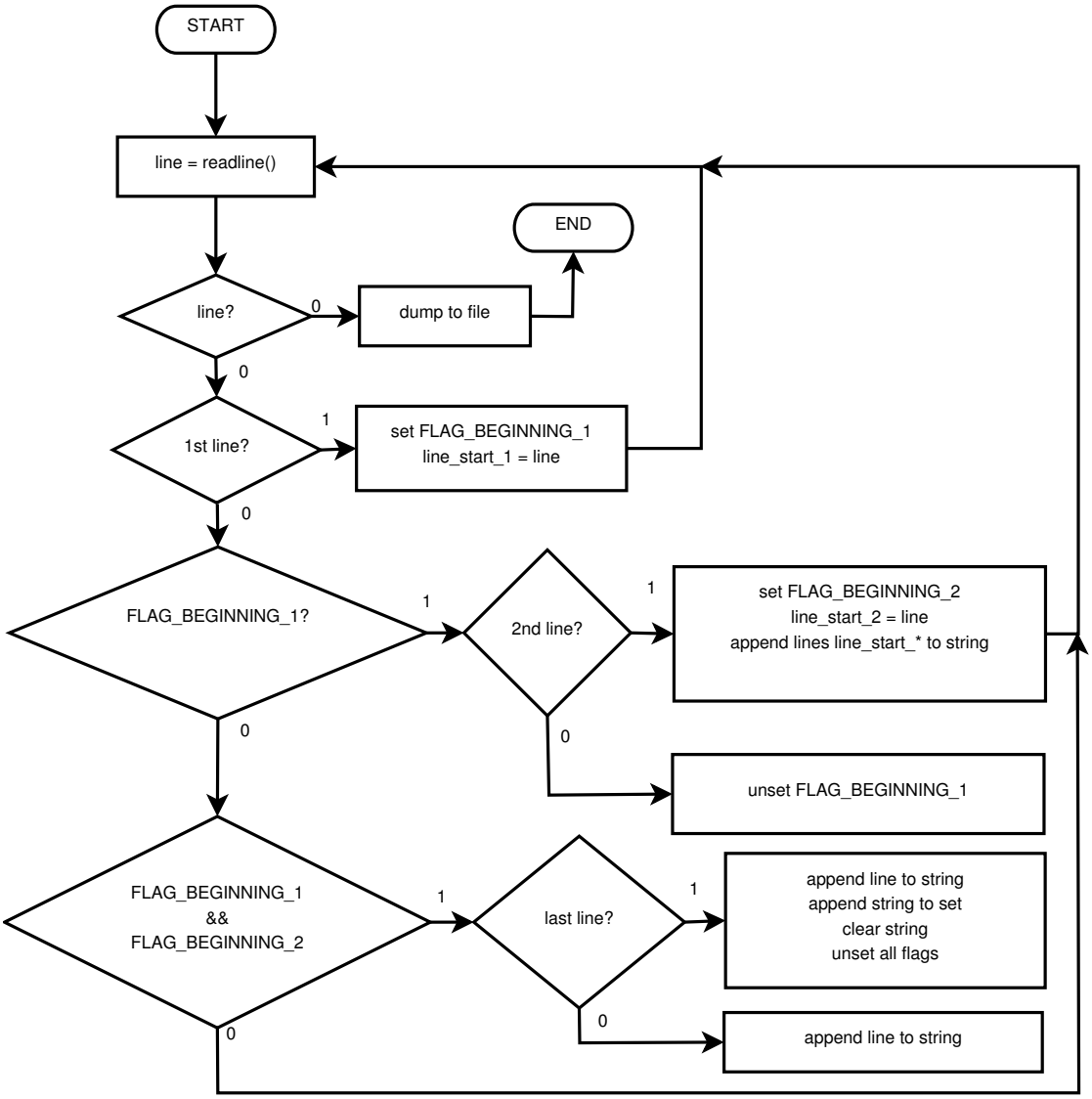
```
SB\s+KEPS\s+@\s+AMSAT\s+$ORB\d5\.[A-Z]
^2Line
```

pomocí nástroje na vyhledávání regulárních výrazů implementovaného modulem re ze standardní knihovny jazyka Python. Konec bálíka je značen řetězcem `\EX`.

V případě, že skript narazí na hledaný výraz, nastaví se příslušný příznak. Tyto příznaky zaručí, aby řádky jednoho balíku se připojili k jednomu řetězci. Když skript identifikuje poslední řádek, pospojovaný řetězec řádků se připojí k množině všech balíků TLE dat. Návratovou hodnotou je právě tato množina. Množina v jazyce Python 3 zaručuje jedinečnost všech prvků, obdobně jako množiny z teorie množin.

K výpisu souboru patří funkce `dump_to_file` skriptu `TLE.py`. Tato funkce má jeden povinný parametr, množinu dat TLE. Z této množiny se načte každý jeden prvek. V těchto prvcích se prohledává datum vzniku, což se použije jako název souboru. Následně se dle potřeby vytvoří adresář, kterého název je rok vzniku TLE dat. Před vytvářením adresáře se kontroluje přítomnost adresáře, nebo souboru stejného jména, jaký se chystá být vytvořit. Jestli adresář se stejným jménem existuje, začne se de ní zapisovat. V opačném případě předpokládáme, že v adresáři je soubor se stejný jménem musíme název složky, kterou se chystáme vytvořit změnit z důvodu nemožnosti koexistence souboru a adresáře stejného jména v rodičovském adresáři. K názvu složky se přidává znak podtržítka a číslo, které se iteruje inkrementací do doby, kdy v rodičovském se nebude nacházet soubor se stejným jménem. V případě adresáře se stejným jménem nalezeného po přidání dodatečných znaků k názvu souboru, se adresář začne používat k uložení souborů. Čtení z množiny je realizováno

pomocí iterací nad její prvkami.




Obr. 2.1: Vývojový diagram extrahování dat TLE

## 2.2 Korekce dopplerovského posuvu

Po úspěšném získání nutných souborů s daty TLE pro umělé družice našeho zájmu, můžeme přistoupit ke korekci dopplerovského posuvu signálu, kterou provedeme pomocí programu doppler volně dostupného z repozitáře GIT týmu codehub dostupného na URL <`https://github.com/cubehub`>.

Program doppler je utlitou příkazového řádku, který ze standardního vstupu čte IQ (in-phase, quadrature) data a zpracovává dle zadaných parametrů. Rozlišujeme dva režimy korekce frekvenčního posuvu. V režimu *const* se kompenzuje konstantní

posuv kmitočtu, kým v režimu *track* se provádí korekce sledováním pohybu umělé družice a to i dodatečně v případě zpracování předem zaznamenaných dat IQ. V pozdním případě se programu doppler musí předát argument datu a času záznamu ve formátu ISO 8601 [8] [9] bez udání časového posuvu v čase UTC.

Korekce dopplerovského posuvu se provádí programem doppler za pomoci volně dostupné knihovny libgpredict, který je založen na predikčním kódu programu Gpredict[**?**]

Aby se zjednodušilo zpracování velikého množství souborů, byl vytvořen skript v jazyce Python 3 pro automatické zpracování záznamů s IQ daty. Modul get_undopplred má definovanou funkci undoppler_it, který jako vstupní parametry má:

- název souboru IQ dat
- název družice v notaci OSCAR[1]
- kmitočet na kterém je z družice vysíláno
- adresář s IQ daty
- adresář s TLE daty
- lokace pozemní stanice

Pomocí těchto údajů se sestrojí řetězec obsahující příkaz shellu BASH, kde jednotlivé příkazy jsou řazeny do tzv. kolony. Jde o zřetězení příkazů oddělených metaznakem svislá čára '|'. Standardní výstup příkazu se předává standardnímu příkazu následujícímu. [11]

Parametry záznamu IQ dat se zjišťují pomocí modulu pymediainfo, který je tzv. wrapper function knihovny Mediainfo [12]. Pomocí tohoto modelu lze zjistit kmitočet vzorkování, bitovou hloubku, kódování, počet kanálů, kodek.

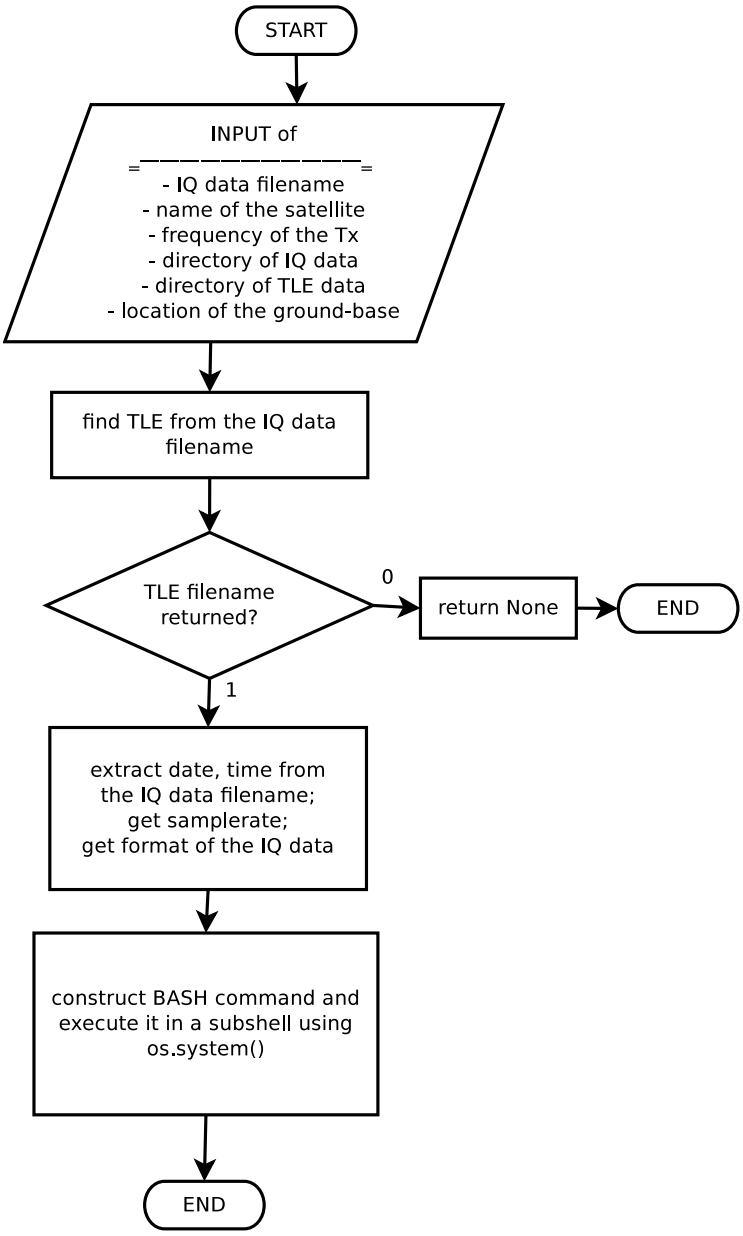
Aby jsme mohli soubory formátu Waveform Audio File Format (WAVE) použít jako vstupní data pro program doppler, je nutné provést změnu formátu dle očekávání programu. K této úloze se použije volný program Sound eXchange (SoX). Podobně na výstupu lze použít SoX pro převod z RAW Audio formátu na WAVE.

## 2.3 Tvorba spektrogramů

Kontrola správnosti korekci dopplerovského posuvu lze hrubě odhadnout pomocí spektrogramu korigovaných IQ dat. Pro automatizovaní tohoto procesu slouží modul wav2spectrogram.

Hlavní částí tohoto modulu je funkce IQ_to_spectrogram. Python 3 modul pro tvorbu spektrogramů. Jediným argumentem je název souboru IQ dat. Ostatní parametry jsou buď napevno dány, nebo automaticky zjištění ze souboru IQ dat. Spektrogram je uložen ve formátu Portable Network Graphics (PNG).

[1] v našém případě se jedná o NO-83, NO-84




Obr. 2.2: Náčrt fungování modulu pro korekci dopplerovho posuvu

# 3 ZÁVĚR

TBD...

# LITERATURA


[1] *Amateur radio satellite*. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-12-10]. Dostupné z URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Amateur_radio_satellite>.

[2] *Amateur radio satellite*. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-12-10]. Dostupné z URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/AMSAT>.

[3] PUBLISHED BY AMERICAN RADIO RELAY LEAGUE. *The ARRL handbook for radio communications 2011.* 88th ed. Newington, CT: American Radio Relay League, 2010. ISBN 9780872590953.

[4] *Low Earth orbit*. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-12-10]. Dostupné z URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Low_Earth_orbit>.

[5] *Space derbis*. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. Dostupné z URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Space_debris>.

[6] *United States Space Surveillance Network*. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. Dostupné z URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/United_States_Space_Surveillance_Network>.

[7] *Two-line element set*. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. Dostupné z URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Two-line_element_set>.

[8] *ISO 8601*. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. Dostupné z URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/ISO_8601>.

[9] *Doppler documentation*. [online]. Dostupné z URL: <https://github.com/cubehub/doppler>.

[10] *Libgpredict documentation*. [online]. Dostupné z URL: <https://github.com/cubehub/libgpredict>.

[11] BRANDEJS, Michal. *UNIX - Linux: praktický průvodce.* Praha: Grada, 1996. ISBN 80-7169-170-4.

[12] *Pymediainfo github repository*. [online]. Dostupné z URL: <https://github.com/sbraz/pymediainfo>.

[13] Gerorge P. Ah-Thew *Doppler compensation for LEO satellite communication systems*. [online] <https://macsphere.mcmaster.ca/bitstream/11375/5713/1/fulltext.pdf>.

[14] *Orbital speed*. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. Dostupné z URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Orbital_speed>.

[15] *Orbital speed*. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. Dostupné z URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Doppler_effect>.

# SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

| | |
|---|---|
| AMSAT-NA | Radio Amateur Satellite Corporation |
| OSCAR | Orbiting Satellite Carrying Amateur Radio |
| USSTRATCOM | United States Strategic Command |
| DoD | Department of Defense |
| ESA | European Space Agency |
| Fraunhofer-FHR | Fraunhofer-Institut fur Hochfrequenzphysik und Radartechnik |
| TIRA | Tracking & Imaging Radar |
| NASA | National Aeronautics and Space Administration |
| JPL | Jet Propulsion Laboratory |
| GDSCC | Goldstone Deep Space Communications Complex |
| MIT | Massachusetts Institute of Technology |
| EISCAT | European Incoherent Scatter Scientific Association |
| USAF | United States Air Force |
| TLE | two-line elements |
| SGP4 | Simplified perturbations models |
| UTC | Coordinated Universal Time |
| WAVE | Waveform Audio File Format |
| SoX | Sound eXchange |
| PNG | Portable Network Graphics |

# SEZNAM PŘÍLOH

# A ZDROJOVÉ KÓDY

## A.1 Skript `TLE.py`

Python 3 modul pro extrahování TLE dat.

```
1  #!/bin/python3
2
3  import re
4  import datetime
5  import os
6
7  #SB KEPS @ AMSAT  $ORB06243.N
8  #2Line Orbital Elements 06243.AMSAT
9  PATTERN_START_1  = re.compile(r'SB\s+KEPS\s+@\s+AMSAT\s+\
       $ORB\d{5}\.[A-Z]')
10 PATTERN_START_2  = re.compile(r'^2Line')
11 #1 28897U 05043H   06249.26374724  .00000138  00000-0
       38823-4 0  1152
12 #2 28897 098.1525 146.2174 0016539 282.7486 077.1854
       14.59597696 37959
13 #/EX
14 PATTERN_END      = re.compile(r'^\/EX')
15 #FROM WA5QGD FORT WORTH,TX August 31, 2006
16 PATTERN_DATE     = re.compile(r'(January|February|March|
       April|May|June|July|August|September|October|November|
       December)\s+(\d{1}|\d{2})\,\s+(\d{4})') # Patter to
       search the date inside the extracted TLE chunk. The
       regular expresion is split to three groups as the
       date is writen in the US format: group 1: Month;
       group 2: day (one or two digits); group 3: year (four
        digits)
17 FLAG_BEGINNING_1 = 1 << 0
18 FLAG_BEGINNING_2 = 1 << 1
19 FLAG_ENDING      = 1 << 2
20
21
22 # Setting flags on a register passed
23 # register is the register to modify
```

```
24 # multiple flags can be passed
25 def set_flag(register, *flag):
26   """set_flag(register, flag_1, flag_2, ...)
27
28 Setting one or more flags in a register passed as an
     argument.
29 If no flag is passed the register is not going to be
     modified.
30 """
31   if flag:
32     for f in flag:
33       register |= f
34     return register
35   else:
36 # An empty list has been passed
37     return register
38
39 # Unsetting flags on a register passed
40 # register is the register to modify
41 # multiple flags can be passed
42 def unset_flag(register, *flag):
43   """unset_flag(register, flag_1, flag_2, ...)
44
45 Unsetting one or more flags in a register passed as an
     argument.
46 For multiple flags passed they all need to be set in
     the rigistry
47 in order to achive True to be returned.
48 If no flag is passed the register is not going to be
     modified and
49 it is being returned as it was passed.
50 """
51   if flag:
52     for f in flag:
53       register &= ~f
54     return register
55   else:
56 # An empty list has been passed.
57     return register
```

```
58
59 # Checking flags on a register passed
60 # register is the register to be checked.
61 # Multiple flags can be passed
62 def check_flag(register, *flag):
63   """check_flag(register, flag_1, flag_2, ...)
64
65 Checking one or more flags in a register passed as an
     argument.
66 If no flag is passed the register 0 is being returned
     .
67 """
68   flags = 0
69
70   if flag:
71     for f in flag:
72      flags |= f
73     return bool((register & flags) == (register))
74   else:
75     return 0
76
77 # Checking if the passed line matches the passed pattern
     .
78 def check_line(pattern, line_to_check):
79   """check_line(pattern, line_to_check)
80
81 Checking of the passed line matched the REGEX pattern.
82 """
83   return bool(re.search(pattern, line_to_check))
84
85 # Appending the line to a string.
86 def append_line(string, *lines_to_append):
87   """append_line(string, *lines_to_append)
88
89 Appending lines passed to the function to the string
90 """
91   for line in lines_to_append:
92     string += line
93
```

```
94    return string
95
96  # Dumping a set of TLEs files
97  def dump_to_file(set_of_TLEs, directory='../keps/'):
98    '''dump_to_file(set_of_TLEs,␣[directory='../keps/'])
99
100 ␣␣The␣function␣takes␣a␣set␣of␣TLEs␣extracted␣from␣the␣
      AMSAT␣e-mail␣list.
101 ␣␣Each␣member␣of␣the␣set␣is␣written␣to␣a␣file,␣which␣name
      ␣containes␣the
102 ␣␣date␣of␣the␣TLE␣file.␣In␣case␣of␣multiple␣files␣per␣day
      ,␣the␣last␣one
103 ␣␣will␣be␣written␣out␣overwriting␣the␣files␣written␣
      before.
104 ␣␣The␣function␣checks␣the␣directory␣if␣it␣is␣available␣at
      ␣the␣CWD.␣If␣it
105 ␣␣exists,␣than␣the␣file␣is␣witten␣there.␣If␣a␣file␣named␣
      that␣exists,
106 ␣␣a␣new␣folder␣is␣being␣created.
107 ␣␣Probably␣the␣function␣will␣be␣able␣to␣handle␣not␣just␣
      set␣as␣parameter,
108 ␣␣but␣another␣iterable␣types.␣It␣was␣not␣tested␣due␣to␣
      shortage␣of␣available
109 ␣␣time.
110 ␣␣Optional␣directory␣parametere␣can␣be␣passed,␣which␣can␣
      be␣either
111 ␣␣realtive␣or␣absolute.
112
113 ␣␣'''
114   for element in set_of_TLEs:
115     date_string = re.search(PATTERN_DATE, element)
116     if date_string == None:
117       return None
118     else:
119       date = datetime.datetime.strptime(date_string.group
          (0), '%B␣%d,␣%Y')
120       filename = date.strftime('%Y-%m-%d')  + '.amsat.tle
          '
121       directoryname = date.strftime('%Y')
```

```
122
123     i = 0       # iteration for the directory name
124
125     while True:
126       if os.path.isdir(directoryname):
127         full_path = os.path.join(directory, directoryname
              , filename)
128         break
129       else:
130         if os.path.exists(directoryname):
131           if directoryname.find('_') == -1:
132             directoryname += '_' + '%02d' %(i)
133           else:
134             directoryname[:directoryname.rfind('_')] += '
                _' + '%02d' %(i)
135             i += 1
136         else:
137           full_path = os.path.join(directory,
                directoryname, filename)
138
139     os.makedirs(os.path.join(directory, directoryname),
          exist_ok=True)
140     tle_file = open(full_path, 'w')
141     tle_file.writelines(element)
142     tle_file.close()
143
144 # Function to look up TLE in the AMSAT mailing list
      archive.
145 #
146 #
147 def extract_amsat_TLE(AMSAT_maillist_filename, directory=
      '../keps/'):
148   '''extract_amsat_TLE(AMSAT_maillist_filename,␣[
        directory='../keps/'])
149 ␣␣The␣mail␣list␣file␣is␣from␣http://amsat.org/pipermail/
      keps/.
150 ␣␣The␣filename␣is␣just␣the␣year␣represented␣by␣four␣
      digits,
151 ␣␣a␣period␣and␣string␣"txt"␣(i.e.␣2006.txt).
```

```
152 ␣␣Optional␣directory␣parametere␣can␣be␣passed,␣which␣can␣
      be␣either
153 ␣␣realtive␣or␣absolute.
154 ␣␣'''
155   f = open(os.path.join(directory,
        AMSAT_maillist_filename), 'r')
156   f_register = 0
157   string_TLE = ''
158   set_of_string_TLE = set()
159   line = f.readline()
160
161
162   while line:
163     if check_line(PATTERN_START_1, line):
164       f_register = set_flag(f_register, FLAG_BEGINNING_1)
165       line_start_1 = line
166       line = f.readline()
167       continue
168     elif check_flag(f_register, FLAG_BEGINNING_1):
169       if check_line(PATTERN_START_2, line):
170         f_register = set_flag(f_register,
              FLAG_BEGINNING_2)
171         line_start_2 = line
172         line = f.readline()
173         string_TLE = append_line(string_TLE, line_start_1
              , line_start_2)
174         continue
175       else:
176         f_register = unset_flag(f_register,
              FLAG_BEGINNING_1)
177         line = f.readline()
178         continue
179     else:
180       if check_flag(f_register, FLAG_BEGINNING_1,
            FLAG_BEGINNING_2):
181         if check_line(PATTERN_END, line):
182           string_TLE = append_line(string_TLE, line)
183
184           set_of_string_TLE.add(string_TLE)
```

```
185
186             string_TLE = ''
187             f_register = unset_flag(f_register,
                   FLAG_BEGINNING_1, FLAG_BEGINNING_2,
                   FLAG_ENDING)
188             line = f.readline()
189           else:
190             string_TLE = append_line(string_TLE, line)
191             line = f.readline()
192
193     return set_of_string_TLE
```

## A.2 Skript get_undopplered.py

Python 3 modul pro korekci dopplerovského posuvu.

```
1  import re
2  import datetime, pytz
3  import os
4  import pymediainfo
5
6  # Function to get some information from the IQ sample
       filename.
7  def extract_IQ_filename(filename, directory='../NO-84'):
8    '''extract_IQ_filename(filename,␣[directory='../NO
       -84'])
9
10 ␣␣This␣function␣is␣extracting␣the␣filename␣of␣which␣
       pattern
11 ␣␣will␣be␣the␣same␣in␣the␣future,␣or␣the␣REGEX␣needs␣to␣
       be␣changed.
12 ␣␣The␣function␣will␣return␣a␣dictionary␣conaning:
13 ␣␣*date␣␣␣␣␣␣␣␣//YYYYMMDD//
14 ␣␣*time␣␣␣␣␣␣␣␣//HHMMSS//
15 ␣␣*frequency␣␣␣//CCCMMM//[kHz]
16 ␣␣*extension␣␣␣//re.(\w{3})//e.g.␣wav
17 ␣␣If␣the␣file␣is␣not␣ending␣with␣'wav',␣then␣instead␣of␣a
       ␣dictionary
18 ␣␣None␣is␣returned.
```

```
19 ␣␣'''
20 # How the regex is built -- hint from a filename.
21 #                                HDSDR_       20160126 _
         205400  Z _              435320 kHz_ RF  .
                wav
22   pattern_named = re.compile(r'HDSDR_(?P<date>\d{8})_(?P<
       time>\d{6}).*_(?P<frequency>\d{6})kHz_(RF)\.(?P<
       extension>\w{3})$')    # REGEX pattern with named
       subgroups date, time, frequency, extension
23   filename_regexed_named = re.search(pattern_named,
       filename)
24   file_parameters = filename_regexed_named.groupdict()
25
26   if file_parameters['extension'] == 'wav':     # filter
       out non-wav files
27     return file_parameters
28   else:
29     return None
30
31 # A little 'key' function for sorting TLE files with
    sorted()
32 def key_function_TLE(date_IQ, date_TLEs):
33   return abs(date_IQ - date_TLEs)
34
35 def find_TLE_for_IQ_file(filename_IQ, directory_TLE='../
    keps/'):
36   '''find_TLE_for_IQ_file(filename_IQ,␣[directory_TLE
       ='../keps/'])
37
38 ␣␣This␣function␣is␣returning␣the␣best␣matching␣TLEs␣file
39 ␣␣based␣on␣the␣IQ␣filename␣given␣and␣the␣date␣encoded␣in␣
    it.
40 ␣␣The␣best␣match␣means␣the␣least␣difference␣between␣the␣
    dates
41 ␣␣indicated␣by␣the␣names␣of␣the␣TLEs␣and␣IQ␣files.
42 ␣␣'''
43   parameters_IQ = extract_IQ_filename(filename_IQ)
44   if parameters_IQ != None:
45
```

```
46      date_IQ = datetime.datetime.strptime(parameters_IQ.
           get('date'), '%Y%m%d')
47      directory_path_TLEs = os.path.join(directory_TLE, str
           (date_IQ.year))
48      pattern_TLE_file = re.compile('%d-%02d-' % (date_IQ.
           year, date_IQ.month))
49      TLEs = list()      # Empty list for TLEs file
50
51      for i in os.listdir(directory_path_TLEs):
52        if bool(re.search(pattern_TLE_file, i)):
53          TLEs.append(i)
54      TLEs = sorted(TLEs, key=lambda TLE: abs(date_IQ -
           datetime.datetime.strptime(TLE[:10], '%Y-%m-%d')))
55
56      return TLEs[0]
57    else:
58      return None
59
60  # Function used for undoing the doppler frequency shift
       using the doppler application called by os.system
61  def undoppler_it(filename_IQ, satellite_name='NO-84',
       satellite_frequency='435350000', directory_IQ='../NO
       -84', directory_TLE='../keps', location_SDR='lat
       =49.173238,lon=16.961292,alt=263.73'):
62    '''undoppler_it(filename_IQ,␣[satellite_name='NO-84',␣
         satellite_frequency='435350000',␣directory_IQ='../NO
         -84',␣directory_TLE='../keps',␣location_SDR='lat
         =49.173238,lon=16.961292,alt=263.73']):
63
64  ␣␣Only␣one␣paremeter␣is␣requered␣not␣to␣get␣an␣error,␣but
       ␣not␣all␣time
65  ␣␣will␣it␣make␣sense.␣It␣is␣due␣to␣the␣fact␣that␣the␣
       optional␣parameters
66  ␣␣are␣used␣only␣for␣the␣purpose␣of␣the␣testing.
67  ␣␣'''
68    filename_TLE = find_TLE_for_IQ_file(filename_IQ,
         directory_TLE)
69
70    if filename_TLE != None:
```

```
71      parameters_IQ = extract_IQ_filename(filename_IQ)
72      mediainfo_IQ  = pymediainfo.MediaInfo.parse(os.path.
          join(directory_IQ, filename_IQ))
73      mediainfo_IQ_tracks = mediainfo_IQ.tracks
74      audio = mediainfo_IQ_tracks[1]
75      audio_dict = audio.to_data()
76
77      local_TZ = pytz.timezone('Europe/Prague')
78      naive_datetime_IQ = datetime.datetime.strptime(
          parameters_IQ.get('date') + parameters_IQ.get('
          time'), '%Y%m%d%H%M%S')
79      local_datetime_IQ = local_TZ.localize(
          naive_datetime_IQ, is_dst=None)
80      utc_datetime_IQ = local_datetime_IQ.astimezone(pytz.
          utc)
81
82      samplerate = '--samplerate␣' + str(audio_dict.get('
          sampling_rate')) + '␣'
83      if (int(audio_dict.get('resolution')) == 16) & (
          audio_dict.get('format_settings') == 'Little␣/␣
          Signed'):
84        intype   = '--intype␣i16␣'
85        outtype  = '--outtype␣i16␣'
86      else:           #in case of strange Wave format, e.g
          . float samples
87        print('Format␣yet␣not␣tested:␣')
88        print('␣*␣reslution:␣␣␣␣␣␣', audio_dict.get('
            resolution'))
89        print('␣*␣format_settings:', audio_dict.get('
            format_settings'))
90        return 1
91      tlefile    = '--tlefile␣'   + os.path.join(
          directory_TLE, filename_TLE[:4], filename_TLE) + '
          ␣'
92      tlename    = '--tlename␣'   + satellite_name
                              + '␣'
93      location   = '--location␣'  + location_SDR
                                + '␣'
```

```
94      frequency  = '--frequency␣' + satellite_frequency
                        + '␣'
95      time       = '--time␣'      + local_datetime_IQ.
           isoformat()[:-6] + '␣'
96      infile     = os.path.join(directory_IQ, filename_IQ)
                      + '␣'
97      output     = '␣>␣'
98      for i in filename_IQ.split('.')[:-1]:
99        output  += i
100     output    += '.UD.' + filename_IQ.split('.')[-1]
101
102     sox_cmd_rbche = '--rate␣' + str(audio_dict.get('
           sampling_rate')) + '␣--bits␣16␣--channels␣2␣--
           encoding␣signed-integer␣'
103     sox_cmd_out = 'sox␣' + sox_cmd_rbche + '␣--type␣raw␣-
           ␣'        + sox_cmd_rbche + '␣--type␣wav␣-'
104     sox_cmd_inp = 'sox␣' + sox_cmd_rbche + '␣--type␣wav␣'
            + infile + sox_cmd_rbche + '␣--type␣raw␣-'
105
106     doppler_cmd = 'doppler␣track␣'+ samplerate + intype +
            outtype + tlefile + tlename + location +
           frequency + time
107
108     full_command_doppler = sox_cmd_inp + '␣|␣' +
           doppler_cmd + '␣|␣' + sox_cmd_out + output
109
110     os.system(full_command_doppler)
111     print(full_command_doppler)
112
113   else:
114     return None
```

## A.3 Skript wav2spectrogram.py

Python 3 modul pro tvorbu spectrogramů.

```
1 import matplotlib
2 matplotlib.use('Agg')
3 import numpy as np
```

```
4  import scipy.signal as signal
5  import numpy as np
6  import scipy.signal as signal
7  from scipy.io import wavfile
8  import matplotlib.pyplot as plt
9  from matplotlib.ticker import FuncFormatter
10
11 # Formating function used for the purpos of plotting
       with MHz
12 def format_mega(x, pos):
13   if x >= 1e6:
14     return '%3.2f' % (x/1e6)
15 #    return x/1e6
16   else:
17     return x
18 # Little function to join a list of strings into one
       string
19 def join(inp_list):
20   out_string = ''
21   for i in inp_list:
22     out_string += i
23   return out_string
24
25 def IQ_to_spectogram(filename_IQ):
26   rate, data = wavfile.read(filename_IQ, mmap=False)
27   data_cmpl = data.view(np.int16).astype(np.float32).view
       (np.complex64)   # Changing the data type to complex
        and
28   data_cmpl = data_cmpl.reshape(data_cmpl.shape[0] *
       data_cmpl.shape[1])  # Reshaping to fit the specgram
29
30   Fc = int(filename_IQ.split('_')[3][:-3])*1000
31
32   cmap = plt.get_cmap('spectral')
33   function_formatter = FuncFormatter(format_mega)
34   vmin = 10 * np.log10(np.max(np.abs(data_cmpl))) - 40
35
36   color_legend, spectrogram = plt.subplots()
```

```
37    Sxx,  f, t, cb = spectrogram.specgram(data_cmpl, NFFT
        =2048, Fs=rate, Fc=Fc, vmin=-18, sides='onesided')
38    spectrogram.set_ylabel('f␣[MHz]')
39    spectrogram.yaxis.set_major_formatter(
        function_formatter)
40    spectrogram.set_xlabel('t␣[s]')
41  #  ax.ylim(-rate/2, rate/2)
42    color_legend.colorbar(cb)
43    plt.savefig(join(filename_IQ.split('.')[:-1])+'.png',
        dpi=600, bbox_inches='tight', pad_inches=0.5)
44    plt.close()
```