

SatTrack

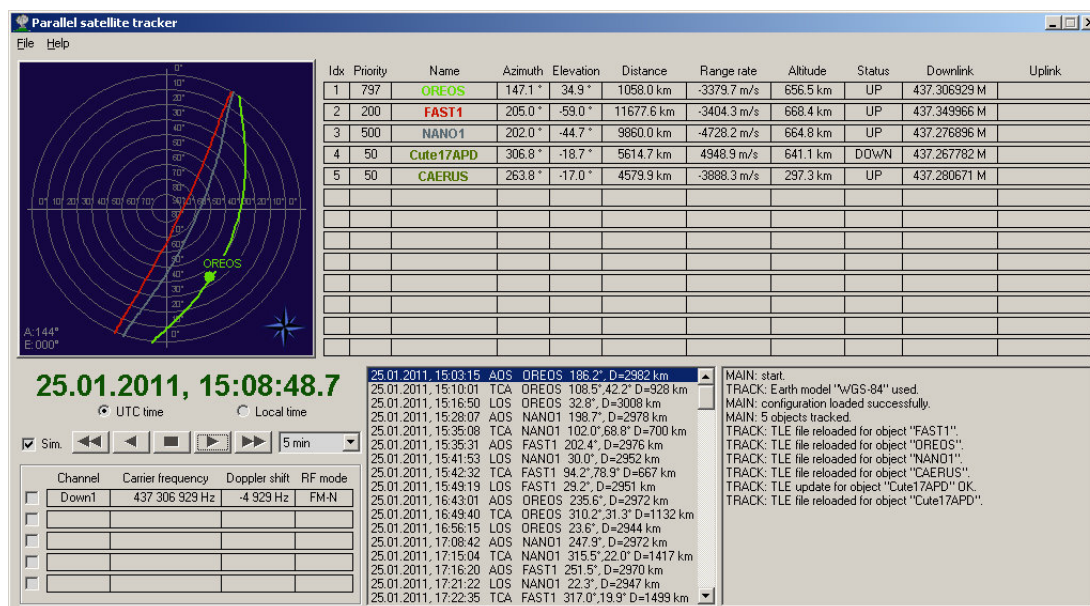
paralelní satelitní tracker

verze 1.1

návod k obsluze a použití

napsal David Holas, OK1WTX, leden 2011

czCube, o.s.



Obsah

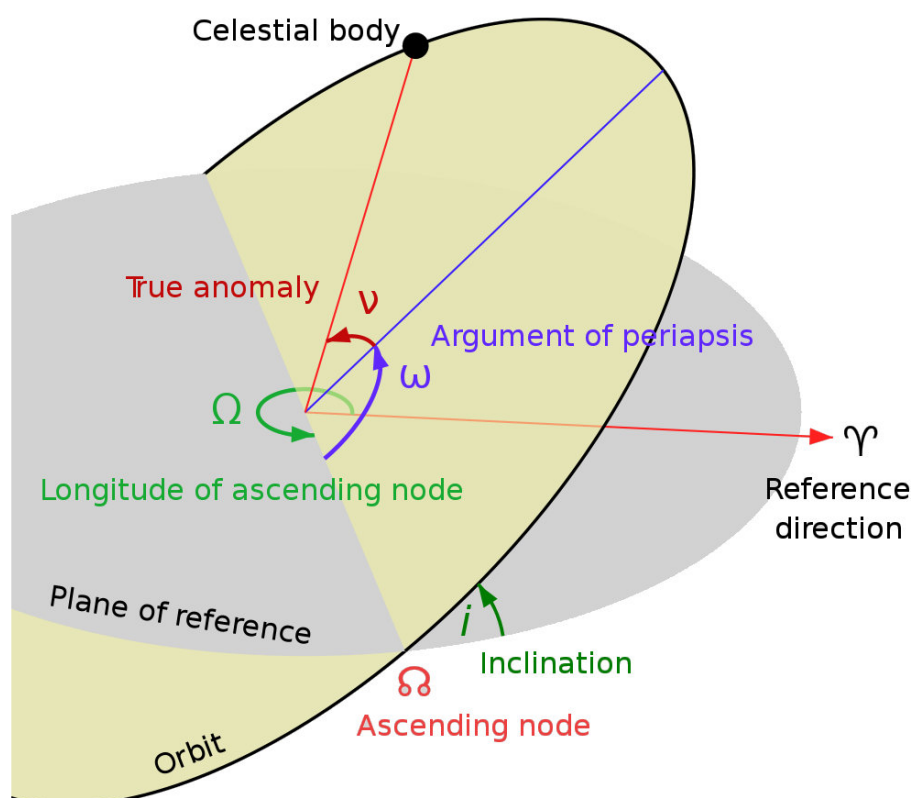
1 Úvod	1
2 Popis funkcí programu	3
2.1 Paralelní výpočet polohy družic	3
2.2 Priority sledování družic	3
2.3 Předpovědi přeletů družic	3
2.4 Automatická aktualizace TLE	4
2.5 Simulace času	4
2.6 Sledování Slunce a Měsíce	4
3 Hlavní okno a popis ovládání	4
3.1 Zobrazení přeletů	5
3.2 Seznam sledovaných objektů	5
3.3 Předpověď přeletů nad stanovištěm	6
3.4 Záznam činnosti programu	6
3.5 Frekvence pro aktuální satelit	6
3.6 Zobrazení a ovládání času programu	7
4 Konfigurační soubor	7
4.1 Globální parametry	7
4.2 Definice sledovaného objektu	8
5 Meziprocesová komunikace	10
6 Příklad konfiguračního souboru	11

1 Úvod

Při sledování satelitů na oběžných drahách, které nemají charakter geostacionární orbity, dochází ke vzájemnému zdánlivému pohybu pozorovatele a sledované družice. Družice se při svém oběžném pohybu může přiblížit k pozorovateli, vyjít nad jeho subjektivní obzor, vykonat přelet nad jeho stanovištěm a opět zapadnout pod horizont.

Přelet družice a její poloha vzhledem k pozorovateli je výsledkem sečtení vlastního setrvačného pohybu tělesa družice v tíhovém poli Země a pohybem stanoviště vlivem otáčení zeměkoule kolem osy. Výpočet trajektorie družice je poměrně komplikovaná úloha, protože pohyb družice je kromě gravitační síly ovlivňován i různými rušivými vlivy (odpor atmosféry, přitažlivost Měsíce a Slunce aj.). Dominantní vliv mají nehomogenity gravitačního pole Země (geoid). Vlastní pohyb stanoviště lze naopak dobře modelovat rovnoměrným otáčivým pohybem Země kolem své osy.

Výpočet pohybu družice, zejména na nízké oběžné dráze, a určení její okamžité polohy a rychlosti v inerciálním souřadném systému je obvykle založen na standardizovaném modelu SGP4/SDP4. Tento matematický model je veřejně dostupný v implementaci pro jazyk C, Pascal a Fortran. Jsou v něm zahrnuty veškeré známé a relevantní fyzikální vlivy a jeho přesnost predikce je pro LEO satelity velmi vysoká. Vstupem modelu jsou tzv. TLE data, což je standardizovaný soubor keplerovských elementů dráhy tělesa (sklon dráhy, excentricita oběžné elipsy, rektascenze výstupního uzlu, argument perigea, mean motion, true anomaly), spojený s časovou značkou, kdy tyto konkrétní údaje platily (díky perturbacím se keplerovské elementy průběžně mění) a s dalšími standardizovanými údaji, které modelu umožňují zpřesnit predikci v nejbližší budoucnosti (např. balistický koeficient, který vystihuje odpor atmosféry).



kredit: wikipedia.org

Systém severoatlantické protivzdušné obrany (NORAD) sleduje svými výkonnými radary všechna tělesa v blízkém kosmu a udržuje jejich veřejnou databázi. TLE data pro konkrétní těleso jsou automaticky aktualizována jednou až dvakrát denně a jejich platná podoba je

volně dostupná přes internet, samozřejmě s výjimkou objektů klasifikovaných. TLE data tedy uživatel musí neustále aktualizovat (cca 1x denně), aby byla zajištěna přesnost předpovědi polohy. Použití zastaralých TLE (např. týden starých) může způsobit, že skutečná poloha družice vůči pozorovateli se bude lišit o desítky úhlových stupňů a tedy může způsobit problémy při příjmu díky chybnému zaměření antén.

Příklad TLE dat pro satelit ISS (Mezinárodní kosmická stanice). platná ke dni 25.11.2010

ISS (ZARYA)

```
1 25544U 98067A 10328.86723778 .00014033 00000-0 10455-3 0 3344
2 25544 51.6429 128.2737 0006853 238.4920 282.6412 15.73073076688746
```

Sledování satelitů, příjem a zpracování jejich dat, je kromě vědecké komunity již řadu let předmětem zájmu radioamatérů. Řada družic, vypuštěných mezinárodní organizací AmSat, je přizpůsobena pro zprostředkování dálkových rádiových spojení a přináší radioamatérům řady nových možností a druhů zábavy. V přidělených frekvenčních pásmech, přiřazených mezinárodními dohodami radioamátérské komunitě, jsou vyčleněny úseky frekvencí pouze pro družicovou službu.

Uskutečnit spojení přes družici vyžaduje od pozemní stanice řešení mnoha dílčích problémů. Vlivem napjatého energetického rozpočtu na palubách družic je omezen výkon palubních vysílačů. To, spolu s nutností použití všesměrových antén na družici, vede k tomu, že pozemní stanice přijímá velmi slabý signál. Jeho kvalitní příjem vyžaduje směrovou anténu, a to zase vyžaduje kvůli úzké směrové charakteristice její pokud možno správné nasměrování k aktuální pozici družice na obloze.

Dalším významným faktorem je Dopplerův efekt. Družice se pohybuje po dráze poměrně velkou rychlostí (zhruba 8 km/s), přičemž tento pohyb má i významnou radiální složku směrem k pozorovateli. Palubní vysílač pracuje na fixní frekvenci, a proto dochází během přeletu k frekvenčnímu posunu přijímaného signálu. Když družice vyjde nad obzor a k pozorovateli se blíží, dochází k posunu směrem k vyšším frekvencím. Jakmile družice dospěje do nejvyššího bodu přeletu, je radiální složka rychlosti nulová a signál se jeví neposunutý. Ve druhé polovině přeletu se družice vzdaluje a situace se obrací. Při vysílání směrem na družici je situace v podstatě opačná – přijímač družice přijímá na fixní frekvenci, ale družice se pohybuje vzhledem k pozorovateli, tedy pozemní signály přijímá posunutě. Pozemní stanice musí tedy vysílat na takové frekvenci, aby palubní přijímač přijal signál správně.

V praxi z těchto vstupních požadavků vyplývá nutnost velkých, silně směrových antén, montovaných na otočné platformě. Anténní rotátor musí zajistit nasměrování antény do určitého azimutu a elevace, a toto nasměrování v průběhu přeletu měnit. Stejně tak musí rádiový přijímač a vysílač pozemní stanice průběžně přeladovat svou pracovní frekvenci. Toto vše se musí dít na základě vypočítané polohy družice, a její radiální rychlosti.

Tyto úkoly je možné dělat s jistými omezeními i ručně, případně z nich slevit (použití antén s širší charakteristikou sníží nároky na směřování, použití nižších frekvencí a FM modulace sníží nároky na ladění), ale vždy je to vykoupeno slabším signálem a vyšší úrovní šumu.

Prakticky použitelné uspořádání řeší tyto úkoly samočinně, s použitím speciálního softwaru. Software (téměř vždy na základě TLE dat) předpovídá polohu družice a automaticky vypočítává aktuální frekvenci pro vysílání a příjem. Tyto údaje jednak prezentuje uživateli graficky, jednak je předává řídicímu systému pro směřování antén a poskytuje je i dalším programům či aplikacím, které zajišťují například řízení transceiveru.

Mezi programy pro tento účel patří Orbitron, Nova, WISP a další. Slabinou těchto programů bývá nutnost sledovat jeden vybraný satelit. Jsou uzpůsobeny k tomu, aby usnadňovaly směřování antén a ladění, ale nejsou příliš vhodné pro automatizovaný provoz sledovací stanice, kdy je třeba automaticky přepínat mezi sledováním jednotlivých satelitů na základě konfigurace. Právě z tohoto důvodu vznikl v rámci projektu české amatérské družice czCube nový program SatTrack, který tyto nedostatky odstraňuje.

2 Popis funkcí programu

Program SatTrack je paralelní tracker více satelitů na základě konfiguračního souboru a TLE dat. Vypočítává aktuální polohu družic vzhledem k pozemnímu stanovišti (určí azimut a elevaci objektu na obloze) v reálném nebo simulovaném čase, určuje aktuální TX a RX frekvence pro spojení s družicí a předpovídá přelety sledovaných družic v budoucnu.

2.1 Paralelní výpočet polohy družic

Program SatTrack používá upravenou implementaci algoritmu SGP4. Pozemní stanoviště je definováno zeměpisnou délkou a šířkou s přesností na tisíce stupňů, a svou nadmořskou výškou nad referenčním elipsoidem. Druh referenčního elipsoidu je možné zvolit z běžně používaných variant.

Výpočty probíhají rychlostí větší než 1 výpočet za sekundu. Všechny sledované satelity se počítají paralelně. Pro každý satelit se vypočítá azimut, elevace, aktuální vzdálenost k pozorovateli, radiální složka rychlosti vzhledem ke stanovišti (range rate), výška družice nad povrchem Země, stav jejího sledování (vychází nad obzor, zapadá) a frekvence pozemního rádia pro příjem (downlink) a vysílání (uplink).

Tyto údaje program distribuuje pomocí meziprocesové komunikace dalším aplikacím.

2.2 Priority sledování družic

V konfiguračním souboru je možné nadefinovat jednotlivé sledované objekty. U každého z nich lze stanovit parametry ovlivňující aktuální prioritu sledování. Program v daném okamžiku „sleduje“ pouze jeden satelit, a to ten, který má právě nejvyšší prioritu. Výpočty pozic provádí pro všechny satelity, ale pouze pro tento vybraný předává data externím programům. Když se změní priority nebo sledovaná družice zmizí pod obzorem, je vybrána jiná družice ke sledování a program SatTrack se na ni automaticky přepne.

Priorita družice se skládá z bazové složky a složky závislé na okamžité elevaci, složky závislé na maximální elevaci během přeletu a složky okamžité vzdálenosti. Vhodným kombinováním vah těchto složek v konfiguraci lze dosáhnout absolutní priority některého satelitu, kdy sledování aktuálního objektu je přerušeno okamžitě, jakmile prioritní družice vyjde nad obzor, ale i dalších, složitějších kombinací.

2.3 Předpovědi přeletů družic

Program neustále na pozadí provádí výpočty poloh družic směrem do budoucna, s jistým časovým krokem. Analýzou sekvence těchto budoucích poloh identifikuje okamžik, kdy družice pro pozorovatele vyjde nad obzor (AOS), dále čas, kdy bude družice uprostřed přeletu a tedy pozorovateli nejbližší (TCA) a okamžik, kdy družice zapadá pod obzor (LOS).

Soupis těchto událostí včetně podrobností (vzdálenost v okamžiku maximálního přiblížení, elevace maximálního přiblížení) pro jednotlivé satelity zobrazuje SatTrack ve zvláštním seznamu.

2.4 Automatická aktualizace TLE

Každý objekt v konfiguraci je popsán svým TLE souborem na disku. Kromě cesty k tomuto souboru se definuje i URL adresa, odkud může program SatTrack toto TLE automaticky stáhnout a aktualizovat. Interval aktualizace je možné určit v konfiguračním souboru.

2.5 Simulace času

Program může pracovat v reálném čase, což je jeho primární účel. Kromě toho nabízí i možnost přepnout čas na simulovaný, a tento ovládat směrem dopředu a dozadu. Je tedy možné si simulovaně „přehrát“ minulé nebo budoucí přelety satelitů, a s volitelným zrychlením nebo zpomalením času, a prověřit tak například správnou funkci dalších, navazujících aplikací (směrování antén, ladění transceiverů apod.).

2.6 Sledování Slunce a Měsíce

Kromě satelitů je možno definovat v konfiguraci i sledování Slunce a Měsíce. Program vypočítává jejich polohu podle standardních astronomických algoritmů. Pro oba speciální objekty je možno definovat prioritu sledování.

3 Hlavní okno a popis ovládání

Po spuštění zobrazí program SatTrack své hlavní okno. Velikost okna je přizpůsobena pro mininotebooky s rozměry displeje 1024 x 600 pixelů.

The screenshot shows the main window of the 'Parallel satellite tracker' application. It features a radar-like display on the left showing satellite tracks, a central table of tracked objects, and a bottom section for simulation controls and a log.

Annotations:

- Zobrazení přeletů:** Points to the radar display on the left.
- Seznam sledovaných objektů:** Points to the table of tracked objects.
- Aktuální čas, simulace času:** Points to the time display showing '25.01.2011, 15:08:48.7'.
- Predikce přeletů:** Points to the list of predicted passes at the bottom.
- Frekvence pro aktuální satelit:** Points to the frequency input field.
- Záznam činnosti programu:** Points to the log window on the right.

Idx	Priority	Name	Azimuth	Elevation	Distance	Range rate	Altitude	Status	Downlink	Uplink
1	797	OREOS	147.1 °	34.9 °	1058.0 km	-3379.7 m/s	656.5 km	UP	437.306929 M	
2	200	FAST1	205.0 °	-59.0 °	11677.6 km	-3404.3 m/s	668.4 km	UP	437.349966 M	
3	500	NANO1	202.0 °	-44.7 °	9860.0 km	-4728.2 m/s	664.8 km	UP	437.276896 M	
4	50	Cute17APD	306.8 °	-18.7 °	5614.7 km	4948.9 m/s	641.1 km	DO'WN	437.267782 M	
5	50	CAERUS	263.8 °	-17.0 °	4579.9 km	-3888.3 m/s	297.3 km	UP	437.280671 M	

Log:

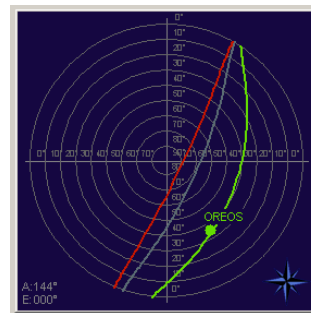
```

MAIN: start.
TRACK: Earth model "WGS-84" used.
MAIN: configuration loaded successfully.
MAIN: 5 objects tracked.
TRACK: TLE file reloaded for object "FAST1".
TRACK: TLE file reloaded for object "OREOS".
TRACK: TLE file reloaded for object "NANO1".
TRACK: TLE file reloaded for object "CAERUS".
TRACK: TLE update for object "Cute17APD" OK.
TRACK: TLE file reloaded for object "Cute17APD".
  
```


3.1 Zobrazení přeletů

V tomto grafickém okně (tzv. okno "radaru") jsou znázorněny dráhy přeletů satelitů v zorném poli pozorovatele. Směry odpovídají světovým stranám, bod uprostřed označuje elevaci 90 stupňů, tj. objekt přímo v nadhlavníku. Pokud se objekt vyskytuje nad obzorem, je zobrazen jako bod s popisem. Barva přiřazená každému objektu (barva stopy a popisu) je definovatelná v konfiguraci.

V okně radaru se zobrazuje budoucí poloha satelitu, a částečně i minulé poloha. Dlouho před „východem“ satelitu se začne v okně radaru zobrazovat postupně se „nasouvající“ křivka označující, kde se bude satelit vyskytovat.



Při pohybu kurzorem myši nad oknem radaru se v levém dolním rohu okna zobrazuje azimut a elevace, odpovídající pozici kurzoru.

3.2 Seznam sledovaných objektů

V tomto seznamu jsou zobrazeny objekty v pořadí, v jakém jsou nadefinovány v konfiguraci, s výjimkou prvního řádku, kde je vždy zobrazen objekt s nejvyšší prioritou, který se právě sleduje.

Idx	Priority	Name	Azimuth	Elevation
1	797	OREOS	147.1 °	34.9 °
2	200	FAST1	205.0 °	-59.0 °
3	500	NANO1	202.0 °	-44.7 °

V konfiguraci je možné určit minimální elevaci, od níž začíná sledování. Objekt, který se nachází pod touto elevací, nemůže být sledován. Ze všech objektů, které se právě nacházejí nad limitní elevací,

se pro sledování vybere ten, který má aktuálně vyšší prioritu. Pokud mají dva sledované objekty stejnou prioritu, sleduje se ten, který byl v konfiguraci definován dříve.

Pro každý sledovaný objekt jsou uvedeny tyto datové sloupce:

Idx	index objektu v konfiguraci, počítáno od jedné
Priority	aktuální vypočítaná priorita objektu dle konfigurace, součet všech složek priority podle nadefinovaných vah
Name	jméno objektu nadefinované v konfiguraci
Azimuth	aktuální azimut objektu z pohledu pozorovatele. Počítá se i pro objekty, které se nacházejí mimo dohled (jsou pod obzorem)
Elevation	aktuální elevace objektu z pohledu pozorovatele. Kladná hodnota znamená satelit nad obzorem, záporná hodnota znamená satelit pod horizontem, mimo dohled
Distance	aktuální vzdálenost objektu od pozorovacího stanoviště
Range rate	aktuální první derivace vzdálenosti objektu od pozorovatele. Záporná hodnota znamená, že se objekt k pozorovateli přibližuje (vzdálenost se zmenšuje). Přímo ovlivňuje dopplerovský posun frekvencí.
Altitude	výška objektu nad povrchem Země, délka kolmé spojnice objektu s povrchem
Status	aktuální stav sledování <ul style="list-style-type: none"> UP - satelit vychází, jeho elevace roste DOWN - satelit zachází, jeho elevace klesá AOS - satelit právě vyšel nad obzor

TCA - satelit se právě maximálně přiblížil k pozorovateli

LOS - satelit právě zachází pod obzor

Downlink aktuální frekvence pro přijímač (se započtením doppleru). Zobrazuje se vždy první (hlavní) frekvence nadefinované pro danou družici. Další nadefinované frekvence jsou zobrazeny v sekci „frekvence pro aktuální satelit“.

Uplink aktuální frekvence pro pozemní vysílač

3.3 Předpověď přeletů nad stanovištěm

Seznam zobrazuje všechny události od aktuálního času programu (reálný nebo simulovaný), ke kterým v budoucnu dojde. Pro každý satelit nastávají postupně události AOS, TCA, LOS. U každé z nich je uveden čas, dále azimut, ve kterém k události dojde, v případě TCA i elevace, a vzdálenost, jak daleko satelit v okamžiku události bude.

Přelety se počítají na pozadí práce programu. Protože z důvodů zmíněných v úvodu je pohyb satelitu komplikovaný a nelze jej jednoduše popsat analyticky řešitelnou rovnicí, je nalezení přeletů možné jen tak, že se směrem do budoucna systematicky počítají další a další pozice a z jejich vývoje se odvozuje výskyt události. To si vyžaduje značné množství výpočtů a jisté zatížení výpočetního výkonu CPU.

25.01.2011, 15:03:15	AOS	OREOS	186.2°, D=2982 km
25.01.2011, 15:10:01	TCA	OREOS	108.5°, 42.2° D=928 km
25.01.2011, 15:16:50	LOS	OREOS	32.8°, D=3008 km
25.01.2011, 15:28:07	AOS	NANO1	198.7°, D=2978 km
25.01.2011, 15:35:08	TCA	NANO1	102.0°, 68.8° D=700 km
25.01.2011, 15:35:31	AOS	FAST1	202.4°, D=2976 km
25.01.2011, 15:41:53	LOS	NANO1	30.0°, D=2952 km
25.01.2011, 15:42:32	TCA	FAST1	94.2°, 78.9° D=667 km
25.01.2011, 15:43:10	LOS	FAST1	30.3°, D=3051 km

Program SatTrack pracuje se zjednodušeným kompromisním postupem, budoucnost se skenuje v jistých časových krocích, pokud je satelit pod obzorem, jsou kroky delší. Velikost kroku zároveň určuje přesnost okamžiku identifikace události. Pro nízkoletící družice, jejichž rychlost přeletu je podobná, se přesnost v aktuální verzi pohybuje v jednotkách až desítkách sekund.

3.4 Záznam činnosti programu

Veškeré důležité akce, start programu, aktualizace jednotlivých TLE, případné chyby v internetové komunikaci, neúspěšné načtení aktualizovaného souboru z disku, vše se zaznamenává do tohoto okna. Všechny zápisy se zároveň zapisují do souboru **SatTrack.log**, který se automaticky vytváří ve stejném adresáři, kde je umístěn SatTrack.exe.

3.5 Frekvence pro aktuální satelit

V levé dolní části okna se zobrazují podrobnosti týkající se komunikace aktuálního satelitu. Pro každý sledovaný objekt je možno nadefinovat až 4 kanály downlink a 4 kanály uplink.

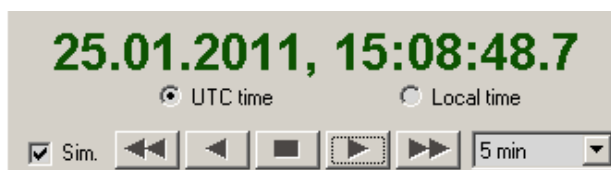
	Channel	Carrier frequency	Doppler shift	RF mode
<input type="checkbox"/>	Down1	437 306 929 Hz	-4 929 Hz	FM-N
<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/>				

Každý kanál je popsán jmenovitou frekvencí vysílače/přijímače, směrem (UP/DOWN) a modulací, kterou je třeba nastavit na pozemním transceiveru. Vše se určuje v konfiguračním souboru. V tabulce je zobrazeno prvních 5 nadefinovaných rádiových kanálů.

U každého zobrazeného kanálu je vypsán směr, aktuální frekvence se započítáním Dopplerova posuvu, aktuální velikost tohoto posuvu a kód modulace. Bližší popis kódů je uveden v sekci popisující konfigurační soubor.

3.6 Zobrazení a ovládání času programu

Aktuální časový údaj, se kterým program pracuje, je zobrazen velkým zeleným písmem pod oknem radaru. Zobrazení je možno přepnout pomocí přepínacích tlačítek mezi lokálním časem (časový posun časového pásma + zohlednění letního/zimního času) a časem UTC.



Program SatTrack může pracovat ve dvou základních časových režimech:

Režim reálného času

v tomto režimu program přebírá lokální aktuální čas PC, převádí jej podle nastavení času v systému na aktuální čas UTC a ten používá pro výpočty v modelu SG4. Je doporučeno využívat funkce Windows pro automatickou synchronizaci času přes internet, eventuálně využití freewarových utilit pro synchronizaci času PC s některým světovým serverem.

Režim simulovaného času

v tomto režimu má uživatel čas programu pod kontrolou. Přepnutí do simulovaného režimu se provede zatržením zaškrtačovacího políčka „Sim“. Po aktivaci simulačního režimu se čas programu zastaví. Pomocí ovládacích tlačítek „vpřed“ a „vzad“ je možné posouvat aktuální čas o časový krok, vybraný ve výběru vpravo.

Stisknutím tlačítek „rychle vpřed“ nebo „rychle vzad“ se aktivuje automatický režim, kdy program samočinně posouvá simulovaný čas vpřed nebo vzad rychlostí jeden časový krok za jednu reálnou sekundu. Pokud je například ve výběru vybrán krok 10 sekund a je stisknuto tlačítko rychle vpřed, poběží simulovaný čas rychlostí 10 simulovaných sekund za 1 reálnou sekundu, tj. desetkrát rychleji oproti simulovanému času.

Režim automatického posunu se ukončí stiskem ovládacího tlačítka „stop“.

Deaktivace simulačního režimu způsobí skokový návrat času programu na čas reálný.

Při rychlém pohybu v čase vpřed a vzad je třeba počítat s tím, že výpočty na pozadí (dráhy satelitů v okně radaru, predikce přeletů) vyžadují určitý čas.

4 Konfigurační soubor

Konfigurační soubor má pevný název „SatTrack.cfg“. Musí být umístěn ve stejném adresáři, jako aplikace SatTrack.exe. Jde o textový soubor, editovatelný běžným textovým editorem. Program po spuštění tento soubor načte a zkontroluje všechny parametry. Pokud při načtení dojde k chybě, program se nespustí a chyba je zapsána do LOG souboru.

Komentáře se v souboru zapisují se znakem „středník“ na začátku. Komentářový řádek se při načítání ignoruje.

4.1 Globální parametry

Definují všechny údaje, které se týkají všech družic společně.

`station_longitude = xx.xxx`

určuje zeměpisnou délku lokace pozemního stanoviště. Udává se jako desetinné číslo ve stupních

station_latitude = XX.XXX

určuje zeměpisnou šířku lokace pozemní stanice. Udává se jako desetinné číslo ve stupních.

station_altitude = XXX

určuje nadmořskou výšku pozemní stanice nad referenčním elipsoidem. Je možno použít normální, nadmořskou výšku z mapy nebo z GPS měření, tolerance v desítkách metrů nemá žádný významný vliv na pozici družic a frekvenci (odchylka max. 0.1 stupně).

earth_model = XXXX

definuje parametry referenčního elipsoidu. Je možné zvolit z možností WGS72, GRS80, NAD83, WGS84, IERS1989, IERS2003. Nejpoužívanější je elipsoid WGS84. Pokud není parametr definován, použije se WGS84.

elevation_trackable = X

definuje limitní elevaci ve stupních. Objekty pod touto hranicí se nesledují, ať mají prioritu jakoukoliv. Z objektů nad touto elevací se sleduje ten s maximální prioritou. Při nastavování je vhodné vzít ohled na reálné možnosti přijímací aparatury (zisk antény, kvalitní LNA), například družice na dráze ve výšce cca 600 km jsou v okamžiku vyjití nad obzor od pozorovatele přes 3000 km daleko. Pokud aparatura není schopna příjmu na takovou vzdálenost, je zbytečné sledovat satelity už od nulové elevace.

tle_update_interval = X

udává interval v hodinách, po kterém bude zahájena komunikace přes internet pro stažení aktualizované verze TLE.

4.2 Definice sledovaného objektu

Každý sledovaný objekt je definován v rámci sekce, která začíná slovem **object** na samostatném řádku a končí slovem **end** na samostatném řádku. Všechny řádky v rámci sekce se interpretují jako parametry jednoho objektu.

V rámci sekce objektu je možné použít následující definice:

name = "jméno"

udává jméno sledovaného objektu. Pod tímto názvem bude zobrazován v tabulce sledovaných satelitů a tento text bude také zobrazen v okně radaru. Jméno musí být v rámci konfigurace unikátní.

Program SatTrack podporuje dvě speciální jména objektů „Sun“ a „Moon“. Pokud je objekt nazván tímto názvem, představuje skutečné Slunce a Měsíc. U těchto objektů nejsou povoleny některé z dalších definic a jejich pozice na obloze se počítá speciálním způsobem.

tle = "filename"

definuje cestu a název souboru s TLE daty. Program očekává textový soubor se 3 řádky podle formátu Spacetrak, první řádek definuje název, druhý a třetí řádek definují TLE. Soubor musí existovat. Pro objekty Sun a Moon se nesmí TLE definovat.

source = "url souboru s TLE", number

určuje síťovou cestu k souboru, ve kterém se nachází příslušný záznam TLE. Soubory s TLE daty jsou volně k dispozici ke stažení, obsahují za sebou nakopírované třířádkové

záznamy aktuálních dat satelitů příslušné skupiny. V jednom TXT souboru se například přenesou najednou všechna data všech satelitů ze skupiny „amatérské“, případně „vědecké“ a další. Součástí TLE dat je i přidělené číslo satelitu. Při stažení souboru se provede aktualizace všech objektů v konfiguraci, jejichž čísla se v TLE najdou. U objektů Sun a Moon se nesmí definovat.

color = RGB(red, blue, green)

definuje barvu přiřazenou satelitu. Touto barvou bude zobrazen v okně radaru a v seznamu sledovaných objektů

priority = number

specifikuje bazovou prioritu objektu. Povolený interval je 0 až 1000. Objekty s vyšší prioritou, pokud se nacházejí nad limitem elevace, budou mít při sledování přednost. Program může přerušit sledování družice s nižší prioritou, pokud vyjde nad limitní elevaci jiná družice s vyšší prioritou

boost_elevation = number

definuje, jak bude skutečná priorita objektu zvýšena v závislosti na aktuální elevaci objektu. Objekty s podobnou bazovou prioritou se mohou odlišovat touto hodnotou (je lepší sledovat satelit s o něco nižší základní prioritou, ale v mnohem větší elevaci – a tedy bližší). Zvýšení priority se spočítá jako „boost * elevace“, s omezením na 0 až 1000.

boost_distance = number

definuje, jak bude skutečná priorita objektu zvýšena v závislosti na aktuální vzdálenosti objektu. Zvýšení priority se spočítá jako „boost * distance“, s omezením na 0 až 1000. Protože je lepší sledovat objekty bližší, je třeba zadat záporná čísla (čím větší vzdálenost, tím větší snížení aktuální priority).

boost_max_elevation = number

definuje, jak bude skutečná priorita objektu zvýšena v závislosti na maximální elevaci v aktuálním přeletu. Dva objekty, které mají stejnou bazovou prioritu, a shodou okolností budou oba viditelné, se mohou odlišit tím, který z nich právě prochází „vyšším přeletem“. Zvýšení se spočítá jako „max.elevace * boost“ s omezením na 0 až 1000.

downmode1 = modlace downlinku 1
až

downmode4 = modlace downlinku 4

definuje, jaká modulace je použita pro příjem. Možné kódy modulací jsou CWN, CW, CWR, FMN, FM, LSB, USB, AM.

upmode1 = modlace uplinku 1
až

upmode4 = modlace uplinku 4

definuje, jaká modulace je použita pro vysílání. Možné kódy modulací jsou CWN, CW, CWR, FMN, FM, LSB, USB, AM.

downlink1 = frekvence downlinku 1
až

downlink4 = frekvence downlinku 4

definuje frekvenci palubního vysílače satelitu pro downlink kanály 1 až 4. Frekvence se udává jako desetinné číslo v megahertzech

uplink1 = frekvence uplinku 1
 až
 uplink4 = frekvence uplinku 4

definuje frekvenci palubního přijímače satelitu pro uplink kanály 1 až 4. Frekvence se udává jako desetinné číslo v megahertzech

5 Meziprocesová komunikace

Data o aktuálně sledovaném satelitu odesílá program SatTrack meziprocesovou komunikací ostatním aplikacím spuštěným ve Windows.

Program SatTrack v každém výpočetním cyklu (tj. častěji než 1 krát za sekundu) vyhledá všechna okna aplikací, jejichž třída okna (windows class name) je rovna „Orbitron_DDE_client_class“.

Všechna tato okna obdrží zprávu WM_COPYDATA, přičemž přidružená struktura COPYDATASTRUCT je vyplněna takto:

položka dwData = 0xDDAABBCC

položka cbData = 350

položka lpData = pointer na buffer o délce 350 znaků, kde se nachází následující řetězec:

SN“name“ AZazimut ELelevace DNdownlink UPuplink DMmode UMmode
 RARange RRrate LOLongitude LALatitude ALAltitude TURrrrrmdd-
 hhmss TLrrrrrmddhhmss

jednotlivé parametry jsou vyplněny skutečnými hodnotami sledovaného satelitu. Parametry LO a LA udávají zeměpisnou šířku a délku bodu, nad kterým právě satelit prolétá. Parametr TU udává UTC čas, TL udává lokální čas.

Dále se program SatTrack každý výpočetní cyklus pokusí nalézt v systému okno, jehož třída je rovna „czCube-rotator-controller“. Pokud toto okno najde, předá mu zprávu WM_COPYDATA, přičemž přidružená struktura COPYDATASTRUCT je vyplněna takto:

položka dwData = 0xDDAABBCC

položka cbData = sizeof(TRANSFER_DATA)

položka lpData = pointer na strukturu TRANSFER_DATA

Struktury jsou definovány následujícím způsobem:

(zarovnání položek struktur je vždy 8 bajtů)

```
typedef double DOUBLE;
typedef struct _TRANSFER_DATA TRANSFER_DATA;
struct _TRANSFER_DATA {
    char Name[50];
    DOUBLE Azimuth;
    DOUBLE Elevation;
    DOUBLE Distance;
    DOUBLE Altitude;
    DOUBLE RangeRate;
    // místo pro historii
    TRANSFER_HISTORY_ITEM HistoryFuture[50];
    TRANSFER_HISTORY_ITEM HistoryPast[50];
    COLORREF PathColor;
};
```

```
typedef struct _TRANSFER_HISTORY_ITEM TRANSFER_HISTORY_ITEM;
struct _TRANSFER_HISTORY_ITEM {
    DOUBLE Azimuth;
    DOUBLE Elevation;
};
```

6 Příklad konfiguračního souboru

```
; =====
; ===                SatTrack config file                ===
; ===                David Holas OK1WTX, 2009                ===
; =====

; This config defines all tracked object, their properties and attributes

; ===== global parameters =====

; Ground station coordinates. Default coordinates are 0,0 (African Navy :-)

station_longitude = 14.987
station_latitude  = 50.658

; Ground station altitude over Earth ellipsoid
; (Earth is modelled as ideal ellipsoid), in meters
; Default value is 0 meters.

station_altitude = 250

; Earth ellipsoid model. If not specified, WGS-84 is used.
; Possible models are WGS72, GRS80, NAD83, WGS84, IERS1989, IERS2003

earth_model = WGS84

; Minimal elevation. If an object has its elevation above this limit, it is
; considered to put it into set of trackable satellites.
; The object from this set with the highest priority is being tracked.
; Default value is -3 deg.

elevation_trackable = 5

; TLE update interval in hours. Default value is 8 hours. If an update fails,
; next attempt will be after 10 seconds.

tle_update_interval = 1

; ===== object section =====

object
    name      = "OREOS"
    tle       = "oreos.tle"
    priority  = 100
    color     = RGB(100,222,0)
    boost_elevation = 20
    downlink1 = 437.302
    downmodel = FMN
end

object
    name      = "ISS"
    tle       = "ISS.tle"
    source    = "http://www.cesetrak.com/NORAD/elements/amateur.txt",25544
    priority  = 500
    boost_max_elevation = 5
    color     = RGB(90,107,115)
    downlink1 = 145.800
    downmodel = FMN
end

object
    name      = "CAERUS"
    tle       = "caerus.tle"
    priority  = 50
```

```
    boost_max_elevation = 5  
    color                = RGB(80,115,0)  
    downlink1            = 437.275  
    downmodel            = CW  
end
```