

Vizualizacija evropskega študentskega lunarnega orbiterja

David Zobavnik

Mentor: izr. prof. dr. Sašo Blažič

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko
Tržaška 25, 1000 Ljubljana
david.zobavnik@gmail.com

Visualisation of European Student Moon Orbiter

ESMO is an international student project which is managed by ESA organization and private company SSTL. Its goal is to make a functional lunar orbiter with mostly student help. Faculty of Electrical Engineering, University of Ljubljana, also plays a role in this project, by creating the visualization of the entire flight. There were two main problems; how to calculate trajectory of the satellite and how to visualize it. It has been proved that the commercial STK program was the most suitable for calculating trajectory in which an optimization tool called Astrogator was used. This is a tool which allows construction of the entire flight by choosing different constraints and using a library of components such as launch, maneuver, flight, and logic loops etc. Two programs were used for visualization- STK and free open source alternative Celestia, to which the trajectory calculated in STK was imported. Graphical model of the satellite was also made.

Kratek pregled prispevka

ESMO je mednarodni študentski projekt, ki deluje pod okriljem organizacije ESA in zasebnega podjetja SSTL. Njegov namen je izdelati lunarni orbiter predvsem s študentko pomočjo. Partner v tem projektu je tudi Fakulteta za elektrotehniko Univerze v Ljubljani, katere naloga je bila vizualizacija celotnega poleta. Pri tem je bilo treba rešiti dva problema; kako načrtati trajektorijo satelita in kako jo nato vizualizirati. Izkazalo se je, da je za načrtovanje trajektorije najbolj primeren komercialni program STK, znotraj katerega smo uporabili optimizacijsko orodje Astrogator. Gre za orodje, ki s pomočjo knjižnice komponent, kot so izstrelitev, manevriranje, letenje, logične zanke itd., »sestavi« polet, glede na podane kriterije. Za vizualizacijo sta bila uporabljena dva programa, STK in pa brezplačna odprtokodna alternativa Celestia, v katero smo izvozili trajektorijo izračunano v STK-u. Narejen je bil tudi grafični model satelita.

1 Uvod

ESMO (European Student Moon Orbiter) je mednarodni študentski projekt, ki deluje pod okriljem organizacije ESA in podjetja SSTL. Namen projekta je narediti lunarni orbiter predvsem s študentsko pomočjo iz celotne Evrope. Cilj misije je popeljati orbiter do Lune in ga vtiriti v njeno orbito. Tam bo orbiter posnel površino Lune in testiral lunarni internetni protokol. V tem projektu sodeluje tudi Fakulteta za elektrotehniko UL, ki je dobila za nalogo vizualizacijo oz. animacijo celotnega poleta. Pri tem je bilo treba rešiti dva problema: kako načrtovati trajektorijo satelita in kako jo nato vizualizirati.

2 Izbira programske opreme

Za programsko opremo je bil izbran komercialni program STK, ki pa je na voljo tudi brezplačno, če se ga uporablja v izobraževalne namene. Program vsebuje potrebne gravitacijske modele ter modele motenj, s katerimi lahko izračunamo trajektorijo satelita. Poleg tega pa vsebuje tudi bogato podporo za 3D vizualizacijo. V fazi vizualizacije je bil testiran tudi odprtokodni brezplačni program Celestia, saj nas je zanimala primerjava odprtokodnih programov.

3 Načrtovanje trajektorije poleta v programu STK

Polet satelita vsebuje naslednje faze:

- 1.) Izstrelitev,
- 2.) Orbitiranje satelita okoli Zemlje,
- 3.) Impulzni pospešek satelita proti Luni in njegov polet,
- 4.) Vtirjenje satelita v Lunino orbito.

Za načrtovanje trajektorije je bilo uporabljeno orodje Astrogator, ki je del programa STK (slika 1). Gre za grafično orodje, ki vsebuje knjižnico komponent, kot so izstrelitev, manevriranje, letenje, logične zanke, itd. S pomočjo teh komponent se lahko "sestavi"

polet. Orodje omogoča tudi optimizacijo poleta, pri čemer je treba izbrati spremenljivke, po katerih bo izvedena optimizacija in pa zahteve, ki morajo biti pri tem izpolnjene.

Program lahko konceptualno razdelimo na naslednja dva dela:

1.) Polet do Lune

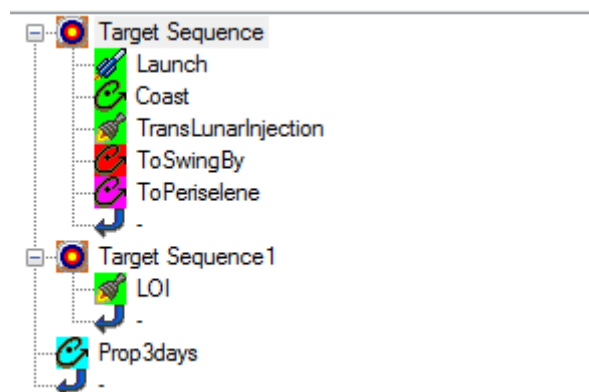
Prvi del se na sliki 1 nahaja pod *Target Sequence*, ki označuje sklop komponent, nad katerimi izvedemo skupno optimizacijo. Sklop vsebuje naslednje komponente:

- *Launch* - element za izstrelitev, pri katerem je podana lokacija izstrelitve in pa čas, ki je bil izbran kot spremenljivka.

- *Coast* - del trajektorije, ki ponazarja vzlet rakete, njen čas trajanja je bil izbran kot spremenljivka.

- *TransLunarInjection* - manever, pri katerem smo impulzno spremenili hitrost satelita, to je manever, ki pospeši satelit na tako hitrost, da le ta lahko doseže Luno. Kot spremenljivka je bila izbrana impulzna sprememba hitrosti.

- *ToSwingBy* in *ToPeriselene*, dve trajektoriji, prva zaznamuje polet do oddaljenosti 300.000 km glede na Zemljo, druga pa nadaljnjo pot do periselena (tj. najbližje točke orbite satelita okoli Lune).



Slika 1: Načrtovanje s pomočjo Astrogatorja

Optimizacija je bila izvedena v treh delih, pri čemer se spremenljivke ne spremenijo:

- V prvem delu je za pogoj bila izbrana delta deklinacija in delta rektascenzija dvižnega vozla (med satelitom in Luno), katerih želena vrednost je bila določena s kotom 0° . S tem je bila zagotovljena pravilna smer (kot) leta satelita glede na Luno.

- V drugem delu je bilo uporabljeno ciljanje B-ravnine[1]. Izbrana kriterija, pri vstopu satelita v B-ravnino, sta bili razdalji 5000 km v smeri vektorskega produkta $B \cdot R$ in 0 km v smeri vektorskega produkta $B \cdot T$ (slika 2). Kjer vektorja B in R predstavljata koordinatni osi B-ravnine. S tem manevrom je bil izračunan bolj natančni približek potrebne impulzne spremembe hitrosti.

- V tretjem delu je bila izračunana točna točka, kamor mora prileteti satelit. Kriterij je bil 90° inklinacije in 100 km višine glede na Lunin koordinatni sistem, ki je fiksiran na severni tečaj Lune[2].

2.) Vtirjenje satelita v Lunino orbito:

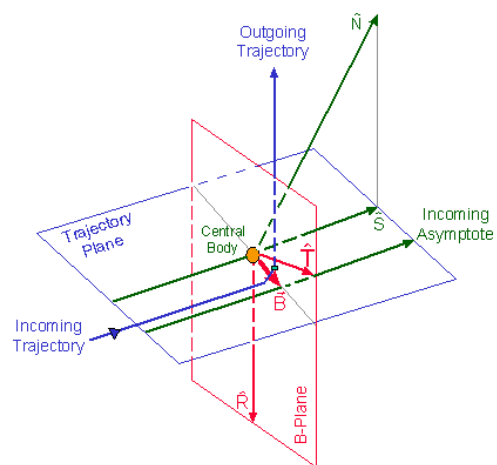
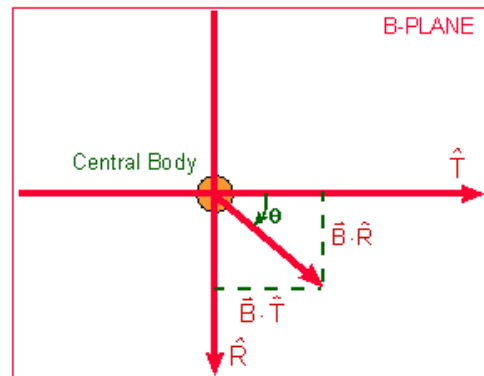
Drugi del se nahaja od *Target Sequence 1* naprej in vsebuje naslednje elemente (Slika 1):

- *LOI* (Lunar Orbit Insertion) - manever, ki impulzno spremeni (upočasni) hitrost satelita tako, da le ta ujame orbito okoli Lune, za spremenljivko je bila izbrana impulzna sprememba hitrosti.

- *Prop3days* - trajektorija satelita, ki 3 dni orbitira okoli Lune.

Ob danih spremenljivkah je za pogoj bilo izbranih 0° zelene ekscentričnosti orbite satelita okoli Lune, s čimer je bila zagotovljena krožna tirnica satelita.

Na podlagi teh kriterijev je bila izračunana celotna orbita, ki se jo da prikazati v STK-u ali pa izvoziti v obliki tekstovne datoteke.



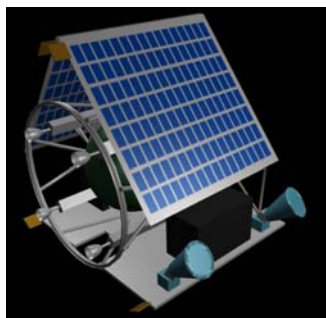
Slika 2 : Prikaz ravnine B

4 Grafični model satelita

Model satelita je bil zgrajen na podlagi sheme satelita, ki je na voljo na interni ESMO strani [3]. Satelit ima dimenzije 1200x1100x1000 mm, težo 265 kg in 4 šobe, ki uporabljajo tekoče gorivo MMH/MNO. Model je bil narejen v programu Bryce, izbran je bil format *3ds*, zaradi njegove priljubljenosti. Rezultat je prikazan na sliki 3.

5 Vizualizacija trajektorije satelita

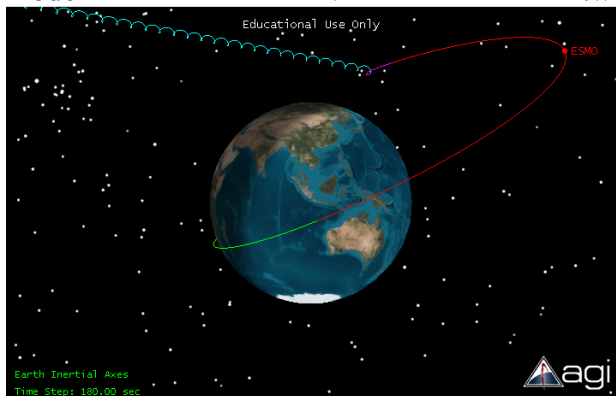
Vizualizacija trajektorije satelita je bila narejena v dveh programih, STK-u in Celestiji.



Slika 3 : Grafični model satelita ESMO

5.1 Vizualizacija v STK

Model satelita je treba najprej pretvoriti v format tipa *lwo*, za kar se lahko uporabi program LighWave, obstajajo pa tudi brezplačne alternative npr. [4]. Ko pretvorimo model v *lwo*



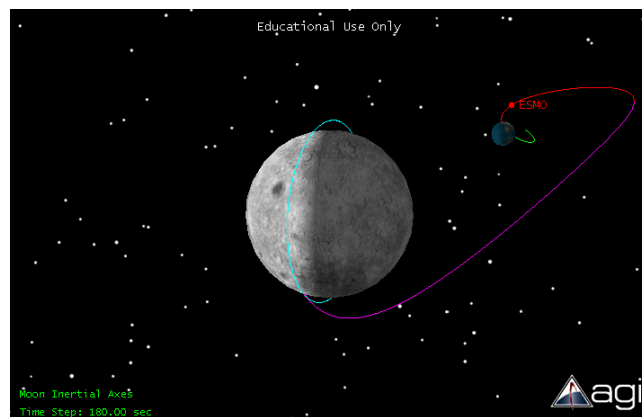
Slika 4.: Trajektorija satelita ESMO z vidika Zemlje

format, uporabimo STK program LwConvert28b [5], ki pretvori model v *mdl* format, ki ga uporablja STK. Trajektorija leta je bila že izračunana v 3. poglavju. Rezultati so prikazani na sliki 4 in 5.

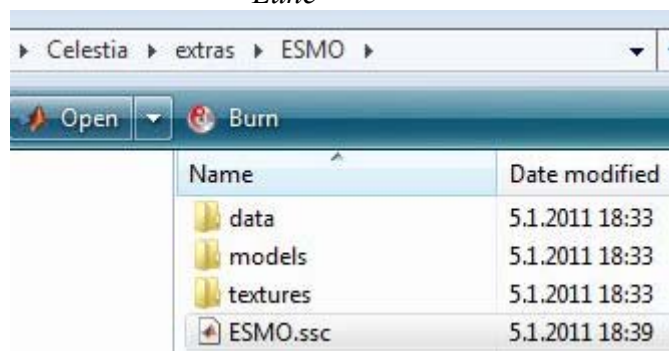
5.2 Vizualizacija v Celestiji

Celestia je brezplačni odprtokodni program, ki omogoča simulacijo vesolja v 3D prostoru. Dostopna je na naslednji povezavi [6]. Osnovna verzija Celestie je bila nadgrajena z boljšo teksturo Zemlje (64K Jestr Earth Mark I DDS) in Lune (32K Moon Surface Map VT) [7], s čemer je bila zagotovljena možnost bolj kakovostnih posnetkov. Satelit je dodan v Celestio tako, da se v direktoriju extras (ki je na

lokaciji kjer je bila naložena Celestia) ustvari nov direktorij z imenom satelita. V tem direktoriju se nato ustvari tri nove direktorije: *data*, *models*, *textures* in datoteka, ki definira lastnosti našega satelita in ima končnico *scc*, kot prikazuje Slika 6.



Slika 5.: Trajektorija satelita ESMO z vidika Lune



Slika 6.: Potrebne mape in datoteke

Datoteka ESMO.scc ima naslednjo vsebino, s poševnim tiskom in z `>>` spredaj je označena koda, v normalnem tisku pa je razložena funkcija kode.

```
>>"ESMO" "Sol/Earth"
```

Z "ESMO" je določeno ime našega objekta s "Sol/Earth" pa referenčni koordinatni sistem.

```
>>Class "spacecraft"
```

Definiranje objekta kot vesoljsko plovilo.

```
>>Mesh "ESMO.cmod"
```

Povezava do grafičnega modela.

```
>>Radius 0.00125
```

Radij objekta (s to funkcijo se lahko objekt skalira).

```
>>>Beginning 2448988.42414
```

```
>>>Ending 2448994.5
```

Umestitev objekta v časovno obdobje

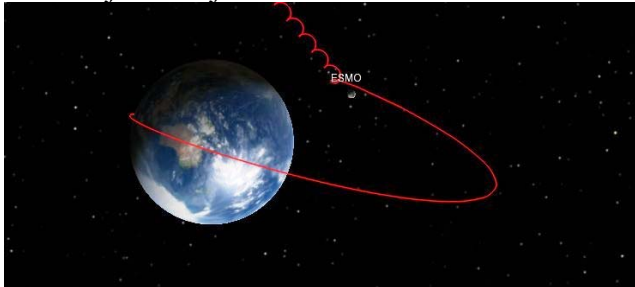
```
>>>SampledOrbit "ESMO.xyz"
```

Povezava do datoteke, ki definira trajektorijo objekta.

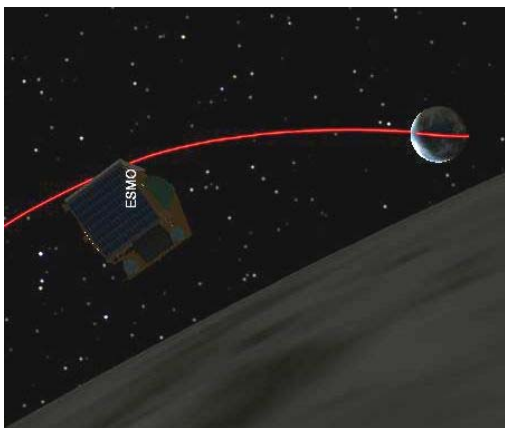
```
>>>#Orientation [90 1 -1 0]
```

Izbira orientacije objekta, ki pa je trenutno zakomentirana z znakom #.

V mapi *data* se nahaja datoteka *ESMO.xyz*, ki vsebuje 4 stolpce, in sicer: čas, pozicija_x, pozicija_y in pozicija_z satelita. To datoteko smo dobili tako, da smo iz datoteke trajektorije, izračunane v STK-u, izluščili podatke in prevedli Universal time v JD format. Celestia za zapis pozicije uporablja zapis Ephemeris J2000, tako kot STK, zaradi česar transformacija koordinatnega sistema ni bila potrebna. V mapi *models* je shranjen model satelita *ESMO.cmod*.



Slika 7: Prikaz trajektorije satelita ESMO v programu Celestia



Slika 8.: Prikaz modela satelita ESMO v programu Celestia

Narejen je s transformacijo modela iz formata 3ds v cmod s pomočjo brezplačnega programa cmodview [7]. V mapi *textures* so shranjene teksture modela, pri čemer morajo biti dimenzije teksture $2^n \times 2^m$ pikslov. Končni rezultati so prikazani na slikah 7 in 8.

6 Zaključek

Članek opisuje postopke, ki so bili potrebni pri vizualizaciji evropskega študentskega orbiterja. Načrtovanje trajektorije satelita je bilo izvedeno z Astrogatorjem, ki je grafično, optimizacijsko orodje znotraj programa STK. Model satelita je bil narejen na podlagi specifikacij, podanih s strani ESA in realiziran s pomočjo programa Bryce. Vizualizacija poleta je bila nato narejena v programu STK in Celestija, tako da je možno narediti posnetke v obeh programih. S tem je bila narejena večina programskega dela. Nadaljnje delo bo vsebovalo izpopolnjevanje programov in pa predvsem pretvorbo vizualizacije v krajši predstavitveni film, kar je tudi končni cilj slovenskega dela projekta.

7 Literatura

- [1] *B-ravnina*, <http://www.stk.com/resources/help/online/stk/source/extfile/gator/eq-bplane.htm>, (stran dostopna februarja 2011)
- [2] *D. Matko, Uporaba vesoljskih tehnologij*, Didakta, Radovljica 1996
- [2] *ESMO projekt*, <http://lex6.edu.esa.int:11000/KB/Knowledge%20Base/Forms/AllItems.aspx>, (stran dostopna februarja 2011)
- [3] *AccuTrans3D*, <http://www.micromouse.ca/>, (stran dostopna januarja 2010)
- [4] *Lwcovert28*, <http://www.agi.com/resources/download/files/LwCovert28b.zip>, (stran dostopna januarja 2010)
- [5] *Celestia*, <http://www.shatters.net/celestia/>, (stran dostopna februarja 2011)
- [6] *Knjižnica Celestia*, <http://www.celestiamotherlode.net/catalog/earth.php>, (stran dostopna februarja 2011)
- [7] *Program CmodView*, <http://www.shatters.net/~claurel/celestia/files/cmodview/cmodview-win32.zip>, (stran dostopna februarja 2011)