

VAJA 13 - Računalniški programi za določanje lege satelitov

1. Keplerjevi elementi tirnice

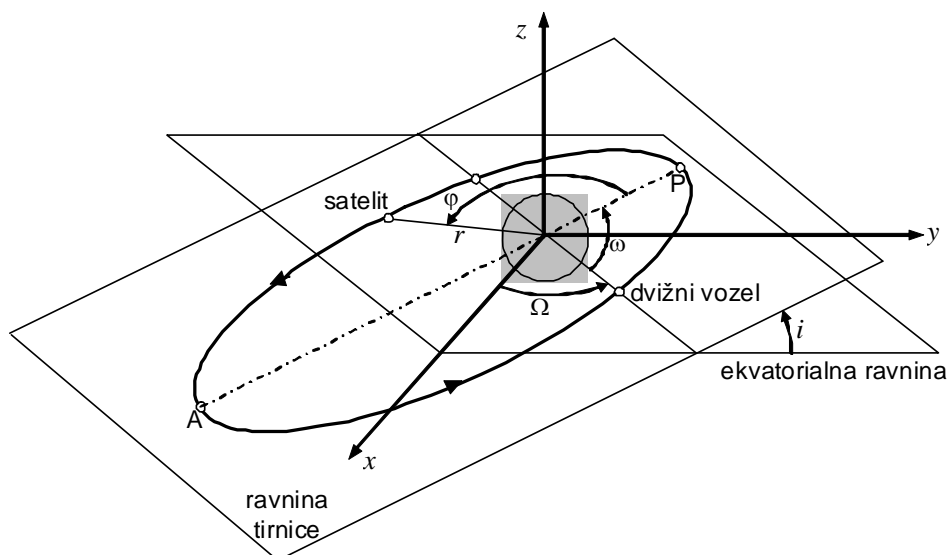
Med najpomembnejše podatke tirnice satelita sodi naklon ravnine tirnice glede na ekvatorialno ravnino. Tirnico Zemljinega satelita lahko narišemo v astronomskem koordinatnem sistemu, kot je to prikazano na sliki 1. Lego ravnine tirnice določa vektor vrtilne količine. Kot med vektorjem vrtilne količine in osjo z imenujemo **naklon tirnice i** (angl. **inclination**). Naklon tirnice hkrati ustreza kotu med ravnino tirnice in ekvatorialno ravnino.

Naklon tirnice se lahko giblje v mejah od 0° do 180° . Naklon 0° pomeni ekvatorialno tirnico, kjer gre vrtenje satelita v isti smeri kot vrtenje Zemlje. Naklon 90° pomeni polarno tirnico, kjer satelit leti čez tečaje Zemlje. Naklon 180° tudi pomeni ekvatorialno tirnico, vendar gre v tem primeru za vrtenje satelita v nasprotni smeri kot se vrtilna Zemlja.

Tirnica s poljubnim naklonom prebada ekvatorialno ravnino v dveh točkah. Točka, kjer satelit prestopa z južne poloble nad severno poloblo, imenujemo **dvižni voz** (angl. ascending node). Zasuk ravnine tirnice okoli osi z opišemo z **rektascenzijo dvižnega vozla Ω** (angl. **Right Ascension of Ascending Node – RAAN**). Lega ravnine tirnice je natančno določena z dvema kotoma: naklonom i in rektascenzijo dvižnega vozla Ω .

Tirnica satelita je v splošnem elipsa, čeprav se pri marsikaterem satelitu trudijo, da bi dosegli čim bolj krožno tirnico. Pri eliptični tirnici imenujemo apogej točko, ko se satelit najbolj oddalji od Zemlje, ter perigej točko, ko se satelit najbolj približa Zemlji.

Da se elipsa tirnice ne more poljubno vrteti v ravnini tirnice okoli vektorja vrtilne količine, potrebujemo še en podatek. Kot med smerjo dvižnega vozla in smerjo perigeja tirnice, gledano iz središča Zemlje, imenujemo **argument perigeja ω** (angl. **argument of perigee**). Lega tirnice v prostoru je torej določena s tremi koti i , Ω in ω .



Slika 1: Ekvatorialna ravnina in ravnina tirnice v prostoru.

Za opis velikosti in oblike elipse potrebujemo še dva podatka. To sta običajno **velika polos elipse a** (angl. **semi-major axis**), ter **ekscentričnost e** (angl. **eccentricity**). Ekscentričnost je neimenovano število, kjer pomeni ekscentričnost nič krožnico, ekscentričnost ena pa povsem ravno črto.

Za točen opis položaja satelita manjka še šesti podatek, to je čas, ko se satelit nahaja v znani točki elipse. To lahko opišemo s **časom t_0 (angl. epoch time)**, ko gre satelit skozi perigej. Ker je gibanje satelita periodično in je obhodni čas točno poznan, čas opišemo s **srednjo anomalijo M (angl. mean anomaly)** v poljubnem trenutku t . Sredna anomalija je podatek, ki ima kotne enote, vendar predstavlja merilo za čas, ker nima nobene geometrijske predstave. Drugi način zapisa je bolj splošen, saj v nekaterih tirnicah satelit nikoli ne doseže perigeja, ker prej zgori v ozračju Zemlje.

Nabor šestih skalarnih podatkov i , Ω , ω , M , e in a v izbranem trenutku t imenujemo Keplerjevi elementi tirnice. Pomanjkljivost Keplerjevih elementov so slaba določenost nekaterih kotov v skrajnih slučaji, kot so ekvatorialne tirnice ($i=0$) oziroma krožnice ($e=0$). Po drugi strani nam Keplerjevi elementi zelo nazorno predstavijo obliko in lego tirnice, dosti bolj kot pa vektor stanja, ki vključuje vektor položaja in vektor hitrosti satelita v izbranem trenutku t .

Praktični Keplerjevi elementi vsebujejo oboje: čas v običajnih časovnih enotah ter srednjo anomalijo, iz katere lahko določimo, v kateri točki elipse se je nahajal satelit ob danem času. Poleg tega se namesto velike polosi elipse se običajno podaja obhodni čas oziroma frekvenca tirnice (**število tirnic v enem dnevu (angl. mean motion)**). Obhodni čas in velika polos sta sicer tesno povezana s tretjim Keplerjevim zakonom, vendar so praktični računi točnejši, če navedemo obhodni čas in iz njega izračunamo veliko polos, ker so v obratni smeri računске napake večje.

Praktični Keplerjevi elementi vsebujejo še nekaj dodatnih števil. Ta lahko opisujejo motilne pojave, naprimer trenje z zemeljskim ozračjem (angl. decay). Pri umetnih satelitih lahko tudi preštejemo **število tirnic od izstrelitve dalje (angl. revolution number)**, kar je pri računanju običajno nekoristno število.

Ker tirnice umetnih satelitov nekoliko odstopajo od razmeroma preprostih Keplerjevih zakonov zaradi raznih motilnih vplivov, kot so težnostne sile drugih nebesnih teles, nepravilnosti težnostnega polja Zemlje (ki ni povsem okrogla, trenja z vrhnimi plastmi ozračja pritiska sončne svetlobe, delovanja raketnih motorjev na krovu itd, moramo v računalniške programe za izračun položaja satelitov vstaviti vedno sveže podatke. Pri večini satelitov je smiselno, da to storimo enkrat mesečno.

2. Seznam potrebnih pripomočkov

Za izvedbo vaje potrebujemo:

- Osebni računalnik priključen na internet.
- Program Orbitron (<http://www.stoff.pl/>) ali InstantTrack (<http://www.amsat.org/amsat/instanttrack>).

3. Obrazložitev in opis poteka vaje

Sveže Keplerjeve elemente najlažje dobimo na s tem namenom postavljenih internetnih straneh. Ena najpogosteje uporabljenih strani je www.celestrak.com, ki vsebuje Keplerjeve elemente za vse od skorajda 50000 umetnih vesolskih predmetov.

Izvorna oblika podatkov je običajno v formatu »NASA-2-LINE«, ki vsebuje vse podatke o tirnici satelita zgoščene v dveh vrsticah števil. Bolj razsipna oblika podatkov je »AMSAT« format, kjer je vsaka veličina na dolgo in široko opisana, vendar ne vsebuje podatkov za vse satelite. Skrčena oblika so podatki v formatu »UOSAT«, kjer stlačimo vse podatke o

določenem satelitu v eno samo vrstico na račun rezanja za nas običajno nepomembnih decimalk.

Sodobni računalniški programi za izračun položaja satelita znajo sami sinhronizirati čas in prebrati podatke v formatu »NASA-2-LINE«. Dvovrstični elementi so v bistvu sestavljeni iz treh vrstic, pri čemer prvi 11 znakovni naslovni vrstici sledijo dve 69 znakovni vrstici, ki jih razlaga spodnja tabela.

1. vrstica		2. vrstica	
1	številka vrstice (=1)	1	številka vrstice (=2)
3-7	registracijska številka satelita	3-7	registracijska številka satelita
10-11	zadnji dve cifri leta izstrelitve	9-16	naklon tirnice i [°]
12-14	zaporedna številka izstrelitve v letu	18-25	rekrascenzija dvižnega vozla Ω [°]
15-17	označba kosa	27-33	ekscentričnost e
19-20	zadnji dve cifri leta, ko je bil satelit v perigeju	35-42	argument perigeja ω [°]
21-32	dan, ko je bil satelit v prigeju	44-51	srednja anomalija M
34-43	parameter povezan s hitrostjo	53-63	število tirnic v enem dnevu
45-52	parameter povezan z pospeševanjem	64-68	število tirnic od izstrelitve do podanega časa, ko je bil satelit v perigeju
54-61	ostali parametri	69	kontrolna vsota
63	tip astronomskih podatkov		
65-68	številka elementa		
69	kontrolna vsota		

4. Prikaz značilnih rezultatov

Za vajo analizirajte podatke o tirnici poljubnega satelita, ki jih dobite na celestrak.com in jih vpišite v spodnjo tabelo.

ime satelita: _____

registrska številka satelita: _____

izstreljen je bil leta _____, kot _____ izstrelitveni objekt v letu _____

zadnjič je bil satelit v perigeju leta _____, dne _____, meseca _____,
ob času ___h, ___min, ___s

naklon tirnice $i =$ _____ o

rekrascenzija dvižnega vozla $\Omega =$ _____ o

ekscentričnost $e =$ _____

argument perigeja $\omega =$ _____ o

srednja anomalija $M =$ _____

število tirnic v enem dnevu = _____

del dneva v katerem naredi eno tirnico = (število tirnic v enem dnevu)-1 = _____

čas v katerem naredi eno tirnico = _____ h _____ min _____ s

število vseh tirnic od izstrelitve do podanega časa, ko je bil satelit v perigeju = _____

celoten čas satelita v orbiti = _____ dni

ocenjen dan izstrelitve satelita = dan/mesec/leto