



Aalto-yliopisto
Perustieteiden
korkeakoulu

Satelliittien rataliikkeen ennustamisesta

Markus Hiltunen

06.03.2023

Ohjaaja: *Pauliina Ilmonen*

Valvoja: *Pauliina Ilmonen*

Työn saa tallentaa ja julkistaa Aalto-yliopiston avoimilla verkkosivuilla. Muilta osin kaikki oikeudet pidätetään.

Satelliittien rataliikkeen ennustaminen: Ongelman taustaa

- Satelliiteilla tarkoitetaan tässä ihmisen avaruuteen laukaisemia, ja Maan tai muun taivaankappaleen kiertoradalle asettamia laitteita.
- Kiertoradalla olo ja siellä pysyminen on luontaisesti dynaaminen tila, jossa kappaleet liikkuvat suurilla nopeuksilla.
- Rataliike sanelee satelliitin paikan kullakin ajanhetkellä. Tämä on voitava ennustaa varsin tarkasti, jotta satelliitteja voidaan käytännössä hyödyntää

Satelliittien rata liikkeen ennustaminen: Ongelman taustaa

- Onneksi ennustaminen on mahdollista: Avaruuden olosuhteissa kappaleiden liike noudattaa tunnettuja lakeja hyvin vähäisin häiriöin.
- Jopa Newtonin mekaniikalla päästään kohtalaisen tarkkoihin ennusteisiin (vs relativistiset mallit)
- Kahden kappaleen ongelma konservatiivisen vuorovaikutuksen alla:
 - **Analyttinen ratkaisu on olemassa.**
- Kolme tai useampi kappale, tai epäjatkuvia voimia:
 - **Tarvitaan numeerista integraatiota.**

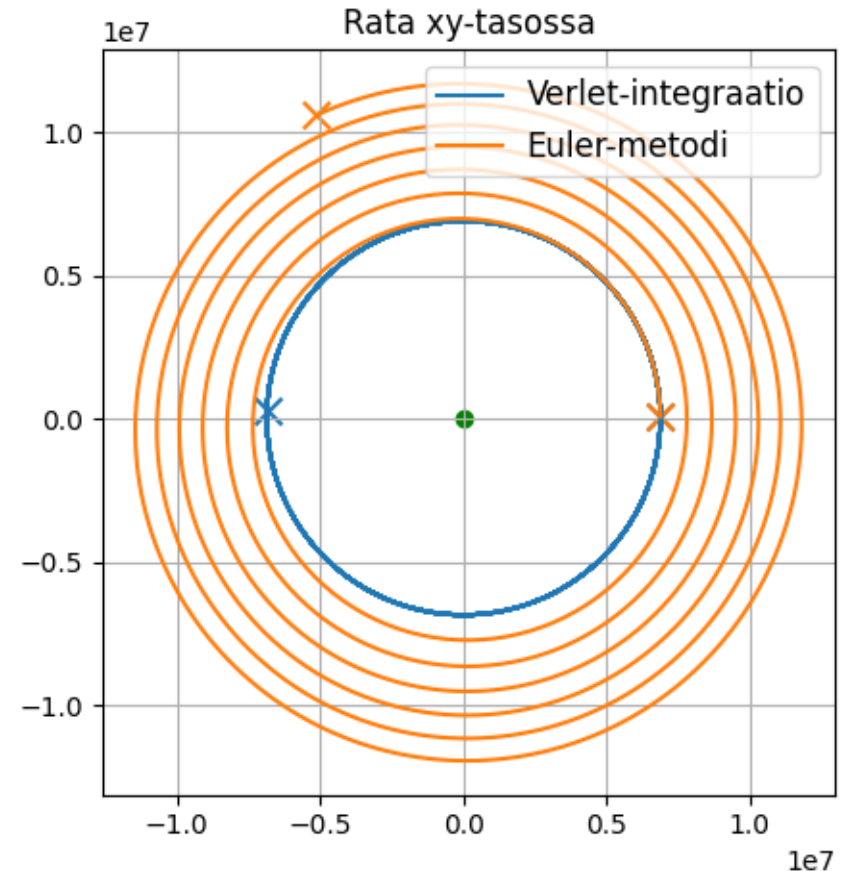
Satelliittien rataliikkeen ennustaminen:

Tavoitteet

- Numeeriset menetelmät ovat käytännön tilanteissa pakollisia. Tässä työssä pyrimme analysoimaan erilaisia numeerisia menetelmiä.
- Tavoite 1: **Katsaus suhteellisen yksinkertaisiin menetelmiin**
 - Katsaus tekniikoihin, kuten Euler-menetelmä ja Verlet-integraatio, jotka ovat varsin yksinkertaisia toteuttaa.
 - Sopivien vertailukriteerien tunnistaminen: *Rataliikkeen kokonaisenergia, rataellipsin parametrien muutokset, pyörimismäärä ...*

Satelliittien rataliikkeen ennustaminen: Tavoitteet

- **Tavoite 2: Implementaatio**
 - 2-3 erilaisen vaihtoehdon implementaatio, ja testaus.
 - Tulosten vertailu keskenään, ja tunnettuihin referenssituloksiin.
 - Esim: On tunnettua, että Euler-metodi ei säilytä konservatiivisen vuorovaikutuksen energiaa. (ks kuva)



Satelliittien rata liikkeen ennustaminen:

Tavoitteet

- Tavoite 3: **Katsaus edistyneempiin menetelmiin**
 - Entä miten asia nykyisin hoidetaan avaruushallintojen puolesta?
 - Ovatko aallonharjan menetelmät julkisia?
 - NASA (mitä ilmeisimmin) käyttää '8. kertaluokan Gauss-Jackson-metodia' Kuinka kompleksisia tällaiset mahtavat olla?
 - Näiden menetelmien osalta tyydymme vain suppeaan kvalitatiiviseen tarkasteluun, tavoitteenamme lähinnä ymmärrys miten ongelmaa nykyisin lähestytään.

Satelliittien rataliikkeen ennustaminen: Menetelmät ja työkalut

- Numeeriseen laskentaan, sekä visualisointiin käytetään Python3 -ohjelmointikieltä, sekä asianmukaisia kirjastoja (numpy, pyplot, astropy...).
- Lopullinen työ koostetaan LaTeX-ladontastandardia käyttäen.

Satelliittien rataliikkeen ennustaminen:

Tietolähteet

- Referenssidatana voidaan käyttää mm. Jet Propulsion Laboratoryn 'Horizons'-tietokantaa tunnettujen taivaankappaleiden ja asteroidien rataparametreille. Nämä edustavat tarkimpia tunnettuja tuloksia.
- SatNOGS-verkko sisältää varsin kattavan ja ajantasaisen tietokannan matalan kiertoradan satelliittien ratatietoja.
- Integraatioalgoritmeista itsestään on saatavilla paljon kirjallisuutta ja julkaisuja. Yksinkertaisimmat menetelmät ovat hyvin kanonisia otuksia.

Satelliittien rataliikkeen ennustaminen: Rajaukset

- Ratamekaniikan integrointiin kehitetään yhä jatkuvasti uusia menetelmiä, ja avaruushallintojen tuotannossa käyttämät ratkaisut ovat varsin esoteerisiä verrattuna niihin mitä tässä voidaan käsitellä.
- Eräät olennaisimmista (matalien ratojen) satelliittien ratoihin vaikuttavista tekijöistä ovat Maan painovoimakentän epähomogeenisuudet, ja ionosfääriplasman vastusvoimat. Näiden huomiointi vaatii hyvin kompleksisia malleja ja aineistoja, emmekä paneudu niihin.