

Rakettitieteen jalanjäljillä

Osa 8: Kuu taivaalta

Mitä käy, kun pienoismallisimulaattoriin syötetään 111 metriä pitkä raketti? Päätin testata.

OpenRocket on ilmainen pienoisorakettien mallinnusohjelma, jolla pystyy suunnittelemaan ja lennättämään omia pienoisoraketteja. Periaatteessa aerodynamiikka toimii samalla tavalla kaikissa kokoluokissa, joten myös isompien rakettien simuloiminen pitäisi onnistua samoilla menetelmillä.

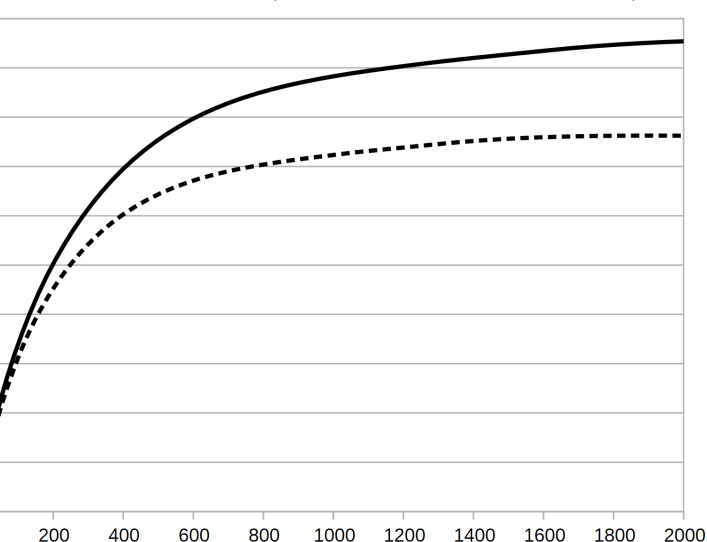
Päätin testata, miten isoja raketteja ohjelmalla pystyy simuloimaan. Ja mikä sen parempi testikohte kuin maailman suurin raketti: 111 metriä pitkä Saturn V.

Hain netistä tiedot Saturn V:n rakenteesta ja eri vaiheiden massoista sekä moottoreista, ja aloin mallintaa. Kasasin raketin yksinkertaisesta osasista yrittämättäkään mallintaa tarkasti eri osien yksityiskohtia.

Kantorakettien simuloinnissa ongelmana on, etteivät ne pääsääntöisesti ole aerodynaamisesti vakaita. Niissä on aktiivinen ohjaus, joka pitää raketin oikealla lentoradalla. Näin ollen ensimmäiset lentoyritykset päättyivät odotetusti raketin kieppumiseen muutaman kilometrin korkeudessa.

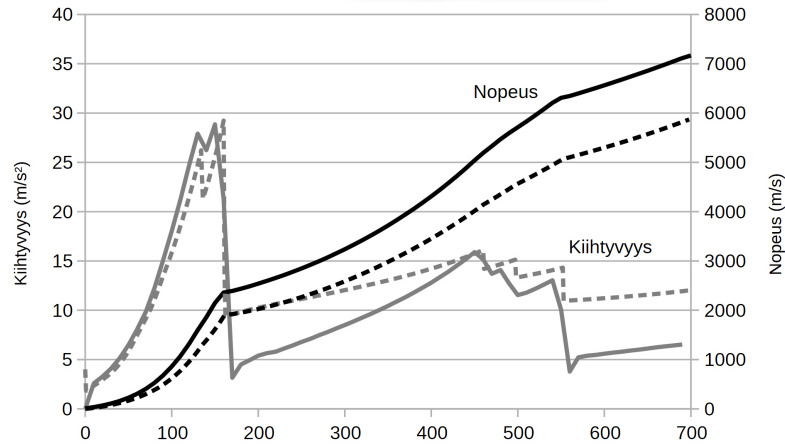
OpenRocket onneksi tarjoaa mahdollisuuden puuttua lennon simulointiin. Kirjoitin JavaScriptillä lisäkoodin, joka simulaation aikana pakottaa raketin asennon oikean lentoradan mukaiseksi. Näin ollen raketin asento noudattaa simuloinnin aikana sitä, mitä se on todellisuudessa ollut.

Jo ensimmäinen yritys, jossa raketin asentoa säädettiin ajan funktiona tuotti hyvää tulosta. Tarkemmin tutkiessa tosin huomasin, että raketti monessa tapauksessa lensi "kylkimyyryä". Asennon säätäminen ilman nopeusvektorin säätämistä aiheutti suurelle osalle lentoa 10-20 asteen kohtauskulman, mikä ei ole realistista. Oletin, että



Kuva 1: Lennon sivuprofiili. Katkoviivalla simuloitu lento, yhtenäisellä viivalla todellinen lentorata.

Sampo Juustila



Kuva 2: Raketin nopeus ja kiihtyvyys ajan funktiona. Katkoviivalla simuloitu lento, yhtenäisellä viivalla todellinen lentorata.

kantoraketin säätöjärjestelmä pitäisi raketin nopeusvektorin oikeassa asennossa, ja laitoin skriptin säätämään sekä raketin asennon että nopeusvektorin suunnan. OpenRocketin laskettavaksi jäi mm. raketin sijainti, nopeus ja kiihtyvyys.

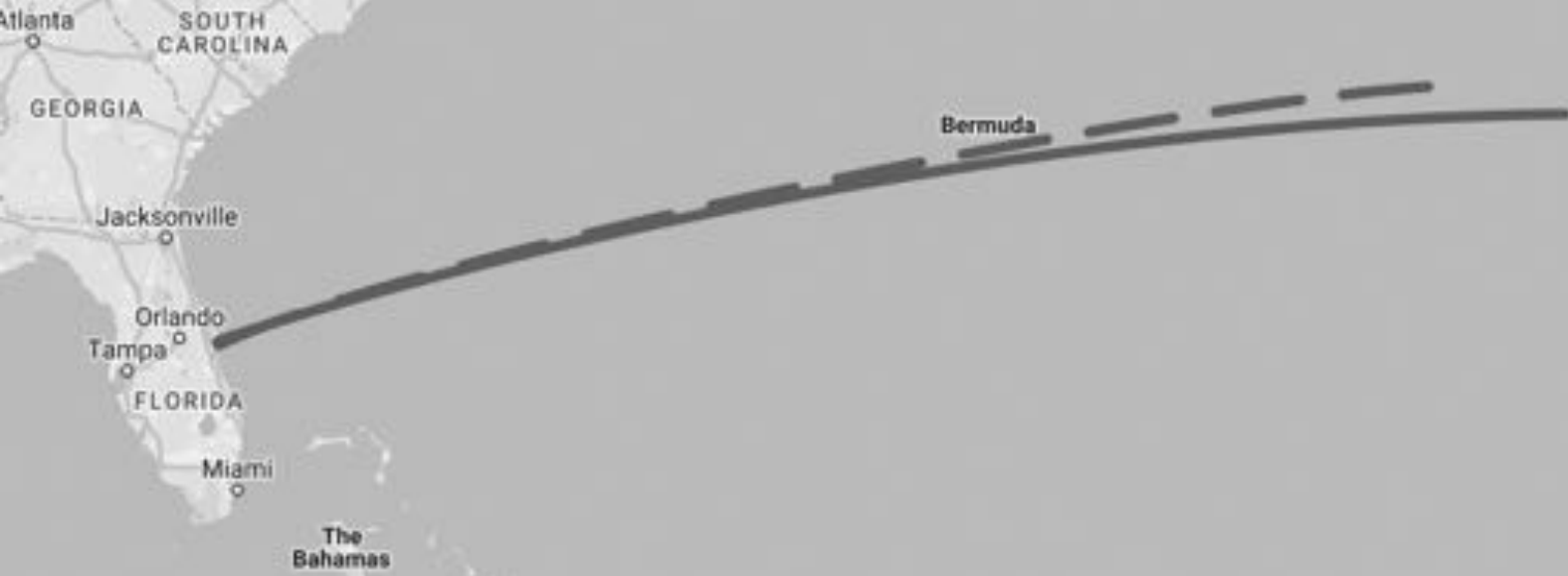
Vertailu todellisuuden kanssa

Valikoin simuloitavaksi lennoksi Apollo 10 lennon toukokuussa 1969. Löysin netistä dokumentin, joka sisälsi monien graafien lisäksi yli sata sivua taulukoitua dataa rakettien lennosta sekunti sekunnilta [1]. Tämän pohjalta sain tarkasti toistettua rakettien lento-ominaisuudet.

OpenRocketissa simuloitu raketti saavutti "vain" 152 km korkeuden, kun todellisuudessa Apollo 10:n kiertoratakorkeus oli 191 km (kuva 1). Lennon muoto kuitenkin vastaa varsin hyvin todellista. Tämä on toisaalta odotettavissa, kun rakettien asento ja lentosuunta pakotetaan aidoiksi.

Raketin nopeus ja kiihtyvyys kuvaavat miten hyvin mallinnus vastaa todellisuutta (kuva 2). Nopeus on muodoltaan hyvin lähellä todellista, vaikka jääkin melkein 20% todellista pienemmäksi. Kiihtyvyys on lennon alkuvaiheilla varsin totuudenmukainen. Ensimmäisen vaiheen irtoamisen jälkeen OpenRocketin simuloima kiihtyvyys on selkeästi todellista korkeampi, johon en keksinyt selitystä. Tämä tasoittuu toisen vaiheen lähetessä loppuaan, ja näkyy jälleen kolmanteen vaiheeseen siirtyessä. (Kuvaajassa nopeus esitetään on maahan kiinnitetyssä koordinaatistossa, jolloin maan pyöriminen ei vaikuta nopeuteen.)

Todellinen ja simuloitu lentorata on piirretty kuvaan 3. Rakettien suuntaamisessa päädyin käyttämään kiinteää atsimuuttikulmaa, koska OpenRocket ei osaa huomioida



Kuva 3: Raketin lentorata. Katkoviivalla simuloitu lento, yhtenäisellä viivalla todellinen lentorata. (Kartta: © 2016 Google, INEGI)

maapallon kaarevuutta. Kun maapallolla lennetään suoraan isoympyrää pitkin, paikallinen atsimuuttikulma muuttuu koko ajan, mikä näkyy Apollo 10:n datassa. OpenRocketin litteässä maailmassa tällaisen todellisen datan käyttö tuotti kaarevan lentoradan.

Virhelähteet

Mistä eroavaisuudet sitten johtuvat? Yksi merkittävä virhelähde on se, että OpenRocket ei osaa nykyisellään mallintaa maapallon kaarevuutta. Vaikka simulaatioon on lisätty coriolisvoiman vaikutus (mikä voi näkyä korkealle lentävillä harrastajaraketeilla), se ei osaa muutoin huomioida maapallon kaarevuutta. Maapallon kaarevuus 2000 km matkalla on jo 300 km, eli tuplasti simuloitu lentokorkeus.

Toinen huomattava virhelähde on aerodynaaminen mallinnus. Simulaation Saturn V kiihtyy 20 Machiin. OpenRocketin aerodynaaminen mallinnukseen luottaisiin noin 2 Machiin asti, minkä jälkeen virheet saattavat alkaa olla merkittäviä. Ylisoonisten ilmiöiden mallintaminen ei ole helppoa, eikä Saturn V ole helpoimman muotoinen raketti mallintaa.

OpenRocketia ei ole suunniteltu tämän kokoluokan raketien simuloimiseen, minkä vuoksi en odottanutkaan tulosten täysin vastaavan todellisuutta. On kuitenkin ilahduttavaa huomata, että näinkin yksinkertaisilla oletuksilla päästään oikeisiin suuruusluokkiin lentoratojen suhteen.

Tämä myös osoitti, miten tehokas työkalu simulaation aikana ajettavat skriptit ovat. Esimerkiksi RockSimilla ei vastaavaa koetta olisi pystynyt tekemään, koska aktiivista ohjausta ei olisi pystynyt mitenkään simuloimaan.

Mallintamisen aikana törmäsin myös useisiin bugeihin OpenRocketissa. Muun muassa yksi raketin pyöryksiä määrittävä metodi oli koodattu väärin — jota onneksi ei muualla koodissa käytetty. Myös mm. 3D-renderointikoodia piti hieman tuunata, jotta raketista sai kunnollisia 3D-kuvia otettua.

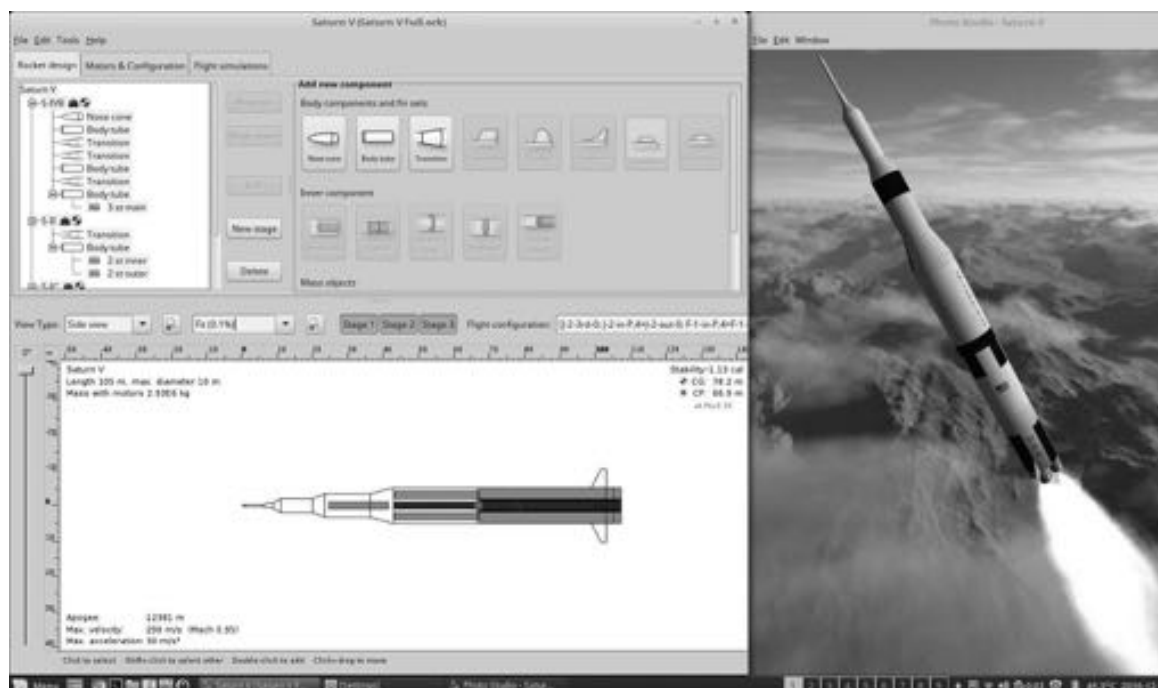
Tekemäni Saturn V:n OpenRocket-mallin voi ladata itselleen SATS:n verkkosivulta osoitteesta <http://www.sats-saff.fi/> □

Lähteet

[1] Apollo/Saturn V postflight trajectory AS-505, <http://history.nasa.gov/ap10fj/pdf/as-505-postflight-trajectory.pdf>

Artikkelisarjan aiemmissä osissa olen kertonut OpenRocket-ohjelmiston kehitysvaiheista ja raketin lennon mallintamisesta.

OpenRocket-ohjelmiston sekä diplomityön saa ladattua osoitteesta <http://openrocket.info/> Artikkelisarjan aiemmat osat on luettavissa SATS:n sivuilta osoitteesta <http://www.sats-saff.fi/>



OpenRocket mahdollistaa myös realistisen 3D-mallinnuksen raketista.