Taller de disseny de missions espacials

ELS DISSABTES DE LES MATEMÀTIQUES

Universitat Autònoma de Barcelona

19 de març de 2011

Introducció

Aquest taller té dues parts. La primera la durem a terme amb el sistema operatiu Linux. La segona la farem sota Windows. Per a això haureu de reiniciar l'ordinador.

A la **primera part** del taller us proposem que dissenyeu vosaltres mateixos la trajectòria d'una missió de reconeixement de la superfície de l'asteroid 4 Vesta. Per aconseguir-ho disposareu d'un programa que dibuixa l'òrbita que seguiria una nau deixada en cada punt de l'espai amb una determinada velocitat.

A la **segona part** us mostrarem el que veuríeu si tripuléssiu una nau en òrbita al voltant de la Terra? Amb el programa Orbiter podeu fer això i molt més.

A aquest guió trobareu una tercera part que no farem al taller per restriccions de temps però que podeu fer casa vostra. Es tracta d'observar el cel i viatjar per l'espai amb el programa Celestia.

1. Una missió de reconeixement de l'asteroid Vesta

L'objectiu d'aquesta activitat és aconseguir una òrbita baixa al voltant de l'asetroid Vesta que es mantingui sense colisionar durant tant temps com sigui possible. Per a això emprareu un programa de simulació de trajectòries al camp gravitatori de Vesta combinat amb uns scripts per al programa de representació gràfica **gnuplot**, tots dos escrits per J.M. Mondelo.

Aquests programes no es troben preinstal·lats a les aules d'informàtica. Per a instal·lar-los, heu d'obrir una terminal Unix (cliqueu a la icona "Konsole" dins les eines de l'escriptori) i escriure les comandes (darrera el símbol \$):

wget brego.mat.uab.cat/astrodismat11.run sh astrodismat11.run cd astrodismat11/vesta make Missions espacials. Els dissabtes de les matemàtiques. UAB. 19 de març de 2011. 3

La darrera comanda genera uns fitxers de dades necessaris per dur a terme les simulacions. Ara ja les podeu dur a terme des de dins del programa gnuplot. Entreu-hi escrivint

. /gnupl ot

Després de diverses línies, obtindreu el prompt gnuplot>, que indica que gnuplot està esperant que li entreu comandes. La primera cosa que heu de fer és carregar l'script que prepara les simulacions:

load 'prepsim.gnu'





0,343867, 0,288323

La finestra de la dreta és un mapa topogràfic de la superfície de Vesta en latitud i longitud. S'indica la desviació de l'alçada mitjana (aquí a la Terra donem les alçades "respecte el nivell del mar", però a Vesta no hi ha mar per referir-s'hi). Observeu el gran cràter que hi ha al pol sud, que arriba fins a 12km de fondària, considerable si tenim en compte que el diàmetre de Vesta és de només 530 km. Observeu també que en aquest mapa es compten longituds positives cap a l'oest. Nosaltres seguirem el conveni habitual de comptar longituds positives cap a l'est (així una longitud de 270 graus al mapa per nosaltres serà de 90 graus). Trobareu aquest mapa topogràfic juntament amb altra informació a

http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/1997/27/

Farem servir la finestra de la dreta per triar el punt de la superfície a sobre del qual volem que comenci la nostra òrbita. Per tal de fer-ho, primer cal:

• Activar la finestra: cliqueu a sobre amb el ratolí i premeu la tecla "Inicio". Veureu que a la finestra de gnuplot us apareix:

Terminal type set to 'x11' Options are 'O nopersist' Activada selecció de lon, lat

 Seleccionar coordenades: cliqueu amb el ratolí a sobre del punt de la superficie sobre del qual voleu començar i premeu la tecla "c". A la finestra de gnuplot us apareixerà

Ajustades Ion 42.183372 lat 0.527785

(els valors concrets dependran del punt a sobre del qual cliqueu)

La finestra de l'esquerra serveix per triar l'orientació de la velocitat. El procediment per a activar-la i seleccionar coordenades és igual que abans, però les coordenades que triareu no són longitud i latitud sinó azimut i elevació (o altura). Aquests dos angles determinen l'orientació del vector velocitat d'acord amb la següent figura (treta de http://www.heavens-above.com/)



Per tal de triar azimut i elevació, heu de pensar que la circumferència vermella correspon a elevació zero (l'horitzò de la figura anterior), la circumferència blava exterior correspon a elevació +90 graus, i la circumferència blava interior correspon a elevació -90 graus. Heu de clicar sempre entre les dues circumferències blaves.

També podeu triar manualment tant longitud i latitud de la posició inicial com azimut i elevació de la velocitat inicial. Per exemple, podeu escriure dins gnuplot:

lon=0 ; lat=0 ; azvel=45 ; elvel=0

Per tal de simular una trajectòria, necessiteu definir tres quantitats més:

• La distància al centre de Vesta del punt inicial de la vostra trajectòria. Per exemple, per tal que sigui de 500km, heu d'escriure dins gnuplot

radi =500

 La magnitud (o norma) de la velocitat. Per exemple, si voleu que correspongui a la que tindria una òrbita circular d'aquesta alçada si Vesta fos una massa puntual (res més lluny de la realitat, com comprovareu de seguida), heu de definir

```
nvel =sqrt(mu/radi)
```

• El temps en segons durant el qual voleu simular la vostra trajectòria. Perquè sigui de 5 hores i mitja, heu de definir

T=5.5*3600

Un cop definit tot això, podeu simular mitjançant

load 'sim.gnu'

Us apareixerà una finestra nova, i uns punts a sobre del mapa topogràfic de Vesta:



view: 60.0000, 30.0000 scale: 1.00000, 1.00000

14.6181, -29.3008

A la finestra de l'esquerra teniu una representació tridimensional de la trajectòria. A la finestra de la dreta, els punts són la projecció de la posició de la sonda espacial a sobre de la superfície de Vesta (coneguda com a "ground track"). Us semblarà contraintuïtiva, però això és degut al fet que Vesta rota al mateix temps que la sonda espacial l'orbita. Missions espacials. Els dissabtes de les matemàtiques. UAB. 19 de març de 2011. 6

Si activeu la finestra de l'esquerra (amb un clic del ratolí seguit de prémer la tecla **Inicio**), podreu rotar-la per tal de fer-vos-en una idea més clara.

Observeu que l'òrbita és aproximadament circular, però **no** tanca, tal com faria si fos al voltant de la Terra. Això és degut al fet que Vesta és essencialment una gran patata (mireu les imatges del link del Hubble de fa uns paràgrafs), i el seu camp gravitatori és molt irregular. Si simuleu la trajectòria durant més estona (proveu 1,2,3,4 i 5 dies), veureu que ja no manté la forma circular.

De fet, veureu que una òrbita d'aquesta alçada (500km) es manté sense col·lisionar durant molt de temps (proveu dos mesos). Però per trajectòries més baixes això no és així.

Repte: quan de temps podeu aconseguir que s'aguanti una trajectòria que comenci amb radi 350km? Podeu aconseguir dos mesos?

2. Vol orbital amb Orbiter

En aquesta activitat practicarem unes quantes maniobres orbitals amb el simulador de vol **Orbiter**. És un simulador extremadament realista, que permet pilotar tant naus reals (com l'Space Shuttle Atlantis de la NASA) com imaginàries. Fins i tot es poden trobar add-ons que permeten pilotar naus històriques com les Apollo.

Per simplicitat, nosaltres en pilotarem una d'imaginària anomenada **Delta Glider**. La Delta Glider és una nau que permet fer tan vols atmosfèrics com espacials. S'enlaira i aterra com un avió, però té motors prou potents com per posar-se en òrbita, i fins i tot viatjar a la Lluna i la resta de planetes. Nosaltres ens limitarem a fer algunes maniobres en òrbita.

Engegueu-lo clicant a la icona Orbiter. Apareixerà el **Orbiter Launchpad**. Comenceu per clicar a la pestanya **Video**, apreteu el botó **Full Screen** (segurament ja ho està) i seleccioneu com a **Screen resolution** la màxima resolució de la vostra pantalla. Torneu a la pestanya **Scenario**.

Feu doble-clic a la carpeta **01-dismat11** i, a continuació, doble-clic a **Orb-01-_0200**.

Us trobeu en òrbita al voltant de la Terra el dia 19 de març de 2011 a les 11:30 hora local (10:30 UT). La simulació és en temps real. Veureu rotar la

Terra a l'esquerra. Com que us trobeu a una òrbita baixa (gairebé circular d'uns 200 km), orbiteu a una velocitat de 7457 m/s (26845 km/h) i feu una volta a la Terra en 5319 s (1h 28min 39s).

Si apreteu F1, veureu la Delta Glider des de l'exterior. Podeu moure la càmera clicant amb el botó dret del ratolí i arrossegant. Si apreteu F4 i cliqueu a **Camera** i després **Track**, podreu canviar el mode de la càmera. Un còmode per nosaltres ara serà **Movable absolute direction**. Apreteu F1 per tornar a la cabina. Podeu ocultar i mostrar el panell d'instruments amb les fletxes amunt i avall del cursor.

La part principal del panell d'instruments són dos **MultiFunction Displays** (**MFD**). El de l'esquerra està en mode de mapa (diu "Map: Earth"). El de la dreta està en mode orbital (diu "Orbit: Earth"). Us mostra diversos paràmetres de la vostra òrbita actual ("OSC.EL."), juntament amb una representació gràfica. En ella, la circumferència interna és la superfície terrestra, i l'externa la vostra òrbita. El radi (línia contínua) uneix el centre de la Terra amb la vostra posició actual. La línia discontínua representa la línia de nodes. A sobre de l'òrbita, la rodona plena representa el perigeu i la buida l'apogeu (potser us costa de veure la rodona buida, us serà més fàcil si oculteu temporalment els elements orbitals apretant el botó **MOD**. Apretant-lo de nou els tornareu a mostrar).

Es pot canviar el mode dels MFD amb el botó **SEL**. Poseu el MFD esquerre en mode **Map**, i veureu la representació de l'òrbita sobre un mapamundi. Els quadrats vermells són representen estacions de seguiment. La vostra posició està representada amb una creueta. Podeu fer zooms amb el botó **ZM**, i desplaçar la regió visualitzada amb els botons << i >>.

A la part superior dreta del panell de control de control trobareu dos controls anomenats AF CTRL (potser haureu de desplaçar el panell [amb les fletxes del cursor] per veure'ls, si la vostra pantalla és petita) i RCS MODE. AF vol dir "Airfoil" (els alerons que permeten guiar la nau en vol atmosfèric, com els dels avions), i RCS vol dir "Reaction Control System" (els thrusters [petits coets] que permeten canviar l'orientació de la nau quan aquesta està en òrbita). Aquests controls es giren cap a la dreta clicant a sobre amb el botó dret del ratolí, i cap a l'esquerra amb el botó esquerre. En vol atmosfèric, RCS MODE ha d'estar en OFF i AF CTRL en ON. En vol orbital, nosaltres sempre el farem servir RCS MODE en ROT (rotació). La posició de AF CTRL és indiferent. Assegureu-vos que RCS MODE està en ON.

Apreteu suaument la fletxa avall **del teclat numèric**. Observareu com la nau comença a rotar cap a amunt (aixeca el nas). Com que estem en òrbita i no hi ha fregament atmosfèric, la nau no deixa de girar mai. La podeu aturar apretant la fletxa amunt del teclat numèric, però per a això cal ser molt hàbil. Ho aconseguireu més fàcilment apretant amb el ratolí el boto "Kill Rotation", o, alternativament, el 5 del teclat numèric. La resta del teclat numèric canvia orientació en els altres sentits:

- 2 i 8 mouen amunt i avall (anglès *Pitch*)
- 1 i 3 giren a esquerra i dreta (al voltant d'un eix vertical, *Yaw* en anglès)
- 4 i 6 giren a esquerra i dreta (al voltant d'un eix horitzontal que recorre el centre de la nau, *Roll* en anglès).

Feu proves i observeu com gira la nau des de l'exterior (**F1**). Recordeu que us podeu aturar amb "Kill Rotation" (5 del teclat numèric).

A la part superior esquerra del panell hi ha una palanca que acciona els dos motors principals, que són a la part del darrere de la nau. S'acciona arrossegant amb el botó esquerre del ratolí. Quan ho feu, assegureu-vos d'agafar-los pel mig, perquè si només agafeu per una banda, accionareu només el motor corresponent (esquerre o dret) i **desestabilitzareu la nau!** El motor principal és molt més potent que els RCS thrusters, i el farem servir per canvis d'òrbita.

Practiqueu amb els controls dels RCS thrusters tot fent algunes acrobàcies orbitals. Recordeu que sempre us podeu aturar amb "Kill Rotation".

2.1. Canvi de pla orbital.

Si poseu el **MFD** esquerre en mode **Map**, veureu que l'òrbita que portem no passa per sobre de Bellaterra, sinó bastant més cap a l'oest, a sobre de l'Oceà Atlàntic. Anem a fer un canvi de pla orbital per tal de fer-la passar a sobre de Bellaterra. Seguiu els següents passos:

- Si no us trobeu a prop de l'Antàrtida, avanceu el temps fins trobarvos-hi (la tecla T accelera el temps [multiplica per 10] i la R el retarda. ATENCIÓ!! MAI no apreteu T més de dues vegades, perquè desestabilitzareu la nau).
- Apreteu el botó Orbit Normal (-). Els RCS thrusters es dispararan automàticament per col·locar la nau perpendicular a l'òrbita, amb el nas apuntant cap al nord.
- Engueueu els motors principals (vigileu de fer-ho amb els dos alhora). Observeu al MFD esquerre com la traça de l'òrbita es desplaça

lentament cap a l'est. Feu un zoom amb el botó **ZM** i desplaceu el mapa fins a veure Bellaterra (més o menys ©). Atureu els motors principals quan l'orbita passi per sobre.

• Espereu fins passar per sobre de Bellaterra (podeu accelerar el temps) i, un cop hi sigueu, maniobreu els **RCS thrusters** per tal de tenir una vista espectacular des de 200 km d'alçada. Podeu amagar el taulell de control amb les fletxes del cursor, o mirar des de fora de la nau.

2.2. Canvi del tamany de l'òrbita

Una regla fàcil per canviar el tamany de l'òrbita és, suposant que engegueu els motors quan esteu alineats amb ella:

- Si mireu cap a endavant (per tant incrementareu la velocitat), fareu créixer l'òrbita per l'altra banda.
- Si mireu cap a endarrere (per tant decrementareu la velocitat), fareu decrèixer l'òrbita per l'altra banda.

Si l'òrbita és circular, no importa a quin punt d'ella feu la maniobra. Si és el·líptica, el més eficient és fer-ho al perigeu o l'apogeu. Aleshores, allunyareu o apropareu l'apogeu o el perigeu, respectivament.

Anem a fer un canvi a una òrbita circular de 3000 km d'alçada:

- Avanceu el temps fins que estigueu més o menys emmig de la zona nocturna.
- Apreteu el botó **Pro Grade**. Els RCS thrusters es dispararan automàticament per tal d'alinear-vos amb l'òrbita, amb el nas cap endavant.
- Engegueu el motor principal. A l'MFD dret (l'heu de tenir en mode "Orbit") veureu com la vostra posició actual es converteix en el perigeu, i l'apogeu comença a créixer.
- Vigileu l'alçada de l'apogeu (ApA dins OSC.EL [si hi hagués ApR en comptes d'ApA, apreteu el botó DST]). Atureu els motors quan arribi a 3 km (dirà 3.000 M, que vol dir 3 milions de metres).
- Avanceu el temps fins a arribar un parell de minuts abans de l'apogeu (vigileu ApT [temps que falta per l'apogeu] dins OSC.EL.), per tal de poder mirar una mica abans de continuar la maniobra.
- Maniobreu els RCS thrusters per tal de tenir una fantàstica vista de la Terra des de 3 km d'alçada.

• Apreteu el botó **Pro Grade** per tal d'alinear novament la nau amb l'òrbita en el sentit del moviment. Engegueu els motors, vigileu com puja el perigeu, i atureu els motors quan el perigeu arribi a 3km d'alçada. Acabeu de circularitzar l'òrbita.

2.3. Maniobra de reentrada

Si us plantejeu tornar a la Terra en algun moment (cosa que sempre està bé ©), haureu de fer una maniobra de reentrada. Aquesta és una de les maniobres més crítiques d'un vol espacial, i ha de ser calculada acuradament, perquè:

- Si entreu poc incliniats, rebotareu en l'atmosfera i tornareu a sortir a l'espai.
- Si entreu molt inclinats, l'efecte de fregament amb l'atmosfera serà tan intens que l'escut tèrmic no podrà soportar les enormes temperatures que atansareu.

A la configuració d'Orbiter (pestanya **Parameters** del Launchpad) veureu que la checkbox "Damage and failure simulation" està desactivada, de manera que no heu de patir per aquest segon punt.

3.Simular el cel i navegar per l'espai amb Celestia

Celestia és un software gratuït que podeu descarregar a **http://www.shatters.net/celestia/** i que us permetrà viatjar per l'espai tridimensional, des de la superfície de la Terra (encara que per una bona qualitat d'imatge us caldria un ordinador més potent del que disposem avui) fins a les estrelles més llunyanes. A continuació us donem unes instruccions molt bàsiques.

Depenent de la versió, a la pantalla incial veureu Ió (un dels satèl·lits galileans de Júpiter) o la Terra. A la cantonada esquerra hi ha una informació sobre el vostre objectiu (**Target**), la vostra velocitat i el temps actual. Movent el ratolí amb el botó dret mantenint pressionat el botó dret hauríeu de veure Júpiter i algunes constel·lacions familiars. Si feu el mateix clicant el botó esquerra la càmera rotarà sobre el seu centre en comptes de fer-ho al voltant de Ió. La roda del ratolí (o els botons **Inici** i **Fi** us permetrà allunyar-vos i apropar-vos de la posició inicial.

Missions espacials. Els dissabtes de les matemàtiques. UAB. 19 de març de 2011. 11

En general us caldrà seleccionar un objectiu. Una forma de fer-ho és simplement clicant a sobre. Un cop heu fixat un objectiu prémer la tecla **G** us hi va acostant. La **H** selecciona el **Sol** i **G** (**Go**) torna al Sistema Solar. Si premeu **G** fins ser prou a prop del Sol i el cliqueu us apareixerà un menú amb tots els planetes del Sistema Solar. Un cop n'heu triat un **G** us hi acosta i mantenint apretat el botó dret del ratolí hi podeu orbitar.

Una forma ràpida d'anar a un objecte llunyà és apretar **ENTER** i aleshores teclejar el nom del vostre objectiu. La tecla **F (Follow)** fa que la càmera segueixi l'objecte seleccionat.

Si voleu manegar Celestia com si fos una nau espacial, ho podeu fer amb les tecles **a** (accelerar), **z** (desaccelerar), **s** (frenar de cop). Am les tecles del cursor, que orienten la càmera, podeu canviar de direcció.

Una sessió d'exemple semblant a la del començament de la xerrada:

- Atureu el temps ([espai])
- Al menú Navigation, trieu Go To Object
- Trieu Earth, Latitude 41.3842, Longitude 2.1764 (Pl. Catalunya), distance 0.030 (30m sobre el nivell del mar).
- Cliqueu Go To i Close.
- Apreteu y (Sync Orbit) i torneu a engegar el temps amb [espai]

(si fessiu **f** de Follow en comptes de **y**, us quedaríeu fixats respecte del centre de la terra, però la terra rotaria a sota dels vostres peus)

- Us trobareu "de nas cap al terra". Aixequeu el nas amb la flexta cap avall fins veure l'horitzó.
- Avanceu el temps fins la posta de sol (el temps s'accelera amb l
 i es desaccelera amb k. Si us passeu, el podeu girar amb j.
 Podeu canviar el temps a l'hora actual amb !).
- Busqueu el sol: [intro]sol[intro].
- Apretant o (Orbits), veureu les òrbites dels planetes, i us fareu una idea de la vostra orientació respecte del sistema solar. Apretant p veureu els noms dels planetes. Aquestes mateixes tecles també serveixen per a desactivar. Desactiveu les dues coses.
- Accelereu el temps (l accelera, k dessaccelera) i veieu com es fa fosc i es veuen les estrelles, es torna a fer clar i es deixen de veure.

Podeu variar el nombre d'estrelles que es veuen amb les tecles + (n'augmenta el nombre) i ` (accent obert, el fa decréixe).

- Activeu les línies de guia de constel·lació amb /. Activeu els noms de constel·lacions amb =.
- Feu avançar el temps depressa, i atureu-vos de tant en quan en el moment de la posta de sol. Veureu com el sol recorre les constel·lacions del zodíac al llarg de l'any.

I ara anem a volar fins a Júpiter.

- Poseu el temps a velocitat normal (recordeu que l accelera i k desaccelera).
- "Desenganxeu-vos" de la superfície terrestre amb [intro]earth[intro]f (Follow Earth).
- Accelereu amb **a**. Podeu mirar enrera amb * i tornar a mirar endavant amb la mateixa tecla. Veureu com sortiu de l'atmosfera i la Terra s'allunya.
- Quan estigueu una mica lluny de la terra, "connecteu-vos" a Jupiter amb [intro]jupiter[intro]f (Follow Jupiter). Centreu-lo en la pantalla amb c. Si activeu les òrbites dels planetes amb o, veureu també les òrbites de tots els satèl·lits de Júpiter.
- Accelereu per tal de volar fins a Júpiter. Vigileu la distància a la part superior esquerra de la pantalla per tal de no passarvos! Si us passeu, podeu girar cua amb q (i mirar cap al darrere amb *). Observeu que la velocitat creix o decreix exponencialment amb les pulsacions que feu a les tecles a o z, respectivament.
- Quan us apropeu a Júpiter, podeu dirigir el vol amb les fletxes del cursor. Us atreviu a fer una passada paral·lela a una franja atmosfèrica?